



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ÂNGELO GOMES GUIMARÃES

**DESCRITIVO E APRESENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA ISOLADA
A GÁS SF6 PARA ALTA TENSÃO**

FORTALEZA
2020

ÂNGELO GOMES GUIMARÃES

DESCRITIVO E APRESENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA ISOLADA A
GÁS SF6 PARA ALTA TENSÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Subestações Elétricas.

Orientador: Prof. PhD. Fernando Luiz Marcelo Antunes.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G981d Guimaraes, Angelo Gomes.
Descritivo e apresentação de uma subestação isolada a gás SF6 para alta tensão / Angelo Gomes Guimaraes. – 2020.
93 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes.
1. Subestação. 2. Gás. 3. SF6. I. Título.

CDD 621.3

ÂNGELO GOMES GUIMARÃES

DESCRITIVO E APRESENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA ISOLADA A
GÁS SF6 PARA ALTA TENSÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Subestações Elétricas.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fernando Luiz Marcelo Antunes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Sup. Eng. Eletricista Lúcio Carvalho
Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP)

Eng. Eletricista Mestrando. Álvaro Jorge de Melo Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Gumercindo e Regina.

A minha irmã, Mayara.

A minha noiva, Layzza.

A todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, que sempre se fez presente em minha vida, principalmente nos momentos de mais difíceis.

Aos meus pais, Gumercindo e Regina, por sempre se manterem tão presentes em tudo em minha vida, me apoiando, motivando e me dando forças para que eu não desista dos meus sonhos. Por estarem sempre me orientando e me mostrando o caminho certo a se seguir nos momentos mais difíceis, complicados e confusos.

À minha irmã, Mayara, por sempre estar ao meu lado me motivando e me dando força para estar sempre melhorando e, apesar de tudo, estar sempre buscando a paz, a harmonia e a união da família.

À minha noiva, Layzza, por sempre me apoiar e acreditar na minha determinação e no meu sucesso. Por me ajudar a ter foco nos estudos e ser a pessoa que em que eu posso confiar para tudo.

A todos os meus companheiros de trabalho na Companhia Siderúrgica do Pecém que sempre me ajudaram no meu desenvolvimento profissional, e me apoiaram a nunca desistir da faculdade.

Ao meu orientador Professor Fernando Antunes pela sua orientação, dedicação e paciência em ajudar a produzir este trabalho de conclusão de curso.

Ao Engenheiro Lucio Carvalho por sempre estar ajudando na minha carreira profissional, por me orientar a buscar sempre o melhor caminho e a melhor opção e disponibilizar o seu tempo para participar da banca examinadora.

Ao meu amigo Naum Barros que me incentivou e iniciou essa jornada comigo. Nós sempre estivemos nos ajudando a melhorar e a obter o sucesso no curso de Engenharia elétrica.

Por fim, agradeço a todos que participaram dessa minha trajetória em o mínimo de atenção, até mesmo os pequenos gestos puderam me ajudar a desenvolver, a evoluir e aprimorar a minha carreira profissional e a desenvolver este trabalho de conclusão e curso.

“Não é só porque estamos com os pés no chão
que vamos deixar de poder voar.”

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso consiste em um estudo detalhado sobre subestações elétricas isoladas a gás Hexafluoreto de enxofre (SF₆) para alta tensão. No decorrer do trabalho são definidos os tipos de configurações e particularidades das subestações existentes e sendo mostrado os principais equipamentos, as suas funções, topologias de operação, proteção e controle e como devem ser utilizadas e posicionadas no sistema elétrico afim de garantir uma estrutura operacional eficiente, de qualidade e segura para todos. O resultado deste trabalho é tornar possível a identificação dos principais equipamentos de uma subestação isolada a gás SF₆, os seus fundamentos e aplicações conforme os modelos diferentes de subestações existentes. Aponta-se também distinguir as vantagens e desvantagens conforme a configuração adotada. Por fim, é realizado uma análise técnica visando reduzir custos de implantação e garantir eficiência, qualidade e segurança operacional ao se utilizar uma subestação isolada a gás SF₆.

Palavras-chave: Subestação. Gás. SF₆.

ABSTRACT

This course conclusion work consists of a detailed study on sulfur hexafluoride (SF₆) gas insulated electrical substations used for high voltage. During the work, the types of configurations and particularities of the existing substations are defined and the main equipment is shown, their functions, operation, protection and control topologies and how they must be used and positioned in the electrical system in order to guarantee an efficient operational structure, quality and safe for everyone. The result of this work is to make it possible to identify the main equipment of an SF₆ isolated gas substation, its fundamentals and applications according to the different models of existing substations. It is also intended to distinguish the advantages and disadvantages according to the configuration adopted. Finally, a technical analysis is carried out to reduce implementation costs and ensure efficiency, quality and operational safety when using an SF₆ isolated gas substation.

Keywords: Substation. Gas. SF₆. GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Molécula de Hexafluoreto de enxofre (SF ₆).....	24
Figura 2 – Para-raio de 230 kV, representação interna, desenho técnico.....	27
Figura 3 – Para-raio de 138 kV, desenho técnico.....	28
Figura 4 – Para-raio de 33 kV, desenho técnico.....	28
Figura 5 – Diagrama unifilar de ligação do transformador de potencial de 230 kV.....	29
Figura 6 – Representação da parte interna e externa do TP de 230 kV.....	30
Figura 7 – Transformador de potencial de 230 kV de Proteção e Medição.....	30
Figura 8 – Transformador de potencial de 138 kV de Proteção e Medição.....	31
Figura 9 – Transformador de potencial de 33 kV de Proteção e Medição.....	31
Figura 10 – Diagrama unifilar de ligação do transformador de corrente de 230 kV.....	32
Figura 11 – TC de 230 kV de Proteção e Medição.....	33
Figura 12 – TC de 138 kV de Proteção e Medição.....	34
Figura 13 – TC de 33 kV de Proteção e Medição.....	35
Figura 14 – Chave seccionadora de 230 kV.....	36
Figura 15 – Chave seccionadora combinada de 138 kV.....	37
Figura 16 – Chave seccionadora combinada de 33 kV.....	38
Figura 17 – Chave seccionadora de aterramento de 230 kV.....	39
Figura 18 – Chave seccionadora de aterramento de 138 kV.....	40
Figura 19 – Módulo do disjuntor a gás SF ₆ de 230 kV.....	41
Figura 20 – Disjuntor a gás SF ₆ de 230 kV.....	42
Figura 21 – Módulo do disjuntor a gás SF ₆ de 138 kV.....	43
Figura 22 – Disjuntor a gás SF ₆ de 138 kV.....	43
Figura 23 – Disjuntor a gás SF ₆ de 33kV.....	44
Figura 24 – Tanque principal com Líquido isolante.....	45

Figura 25 – Núcleo.....	45
Figura 26 – Enrolamentos.....	46
Figura 27 – Tanque de expansão.....	46
Figura 28 – Indicador magnético de nível de óleo.....	47
Figura 29 – Desumificador de ar.....	47
Figura 30 – Termômetro de temperatura do óleo.....	48
Figura 31 – Termômetro de temperatura do enrolamento.....	48
Figura 32 – Dispositivo de alívio de pressão (pressão rápida).....	49
Figura 33 – Relé de pressão súbita.....	49
Figura 34 – Dispositivo de alívio de pressão do comutador de (TAP) derivações.....	50
Figura 35 – Comutador de TAP (Derivações) automático (Com carga).....	50
Figura 36 – Comutador de TAP (Derivações) manual (Sem carga).....	51
Figura 37 – Relé de gás tipo Bulchholz.....	51
Figura 38 – Dispositivo coletor de gás.....	52
Figura 39 – Radiador tubular.....	52
Figura 40 – Ventilação forçada.....	53
Figura 41 – Contador de surtos.....	53
Figura 42 – Transformador de 230 kV.....	54
Figura 43 – Resistor de aterramento (NGR – Neutro Ground Resistor).....	54
Figura 44 – Parte interna de um barramento isolado a gás SF6.....	57
Figura 45 – Barramento isolado a gás SF6 (GIS).....	58
Figura 46 – Bucha Ar / Gás de 230 kV.....	58
Figura 47 – Bucha Óleo / Ar de 33 kV e 6.6 kV.....	59
Figura 48 – Bucha Gás / Óleo de 230 kV.....	59
Figura 49 – Bucha Cabo / Cone.....	60

Figura 50 – Densímetro.....	61
Figura 51 – Anunciador de alarmes de detecção de gás.....	62
Figura 52 – Detector de tensão.....	63
Figura 53 – Painel geral de anunciador de alarmes da subestação.....	64
Figura 54 – Anunciador de alarmes do transformador de 230 kV.....	65
Figura 55 – Anunciador de alarmes do comutador de TAP de 138 kV.....	65
Figura 56 – Detectores de arco elétrico no sistema GIS.....	66
Figura 57 – Sensor e controle do sistema de detecção de arco elétrico.....	66
Figura 58 – Disco de ruptura.....	67
Figura 59 – Retificador.....	68
Figura 60 – Banco de baterias.....	69
Figura 61 – Painel anunciador de alarmes e de medição do banco de baterias.....	70
Figura 62 – Fonte de alimentação normal da UPS.....	71
Figura 63 – Fonte de alimentação de emergência da UPS.....	71
Figura 64 – Fonte de alimentação de by-pass da UPS.....	72
Figura 65 – Fonte de alimentação da bateria da UPS.....	72
Figura 66 – Painel anunciador de alarmes e de medição da UPS.....	73
Figura 67 – AVR: Regulador de tensão automático.....	74
Figura 68 – Relé de proteção ABB RED 670.....	75
Figura 69 – Relé de proteção Mitsubishi MBP/MCD.....	77
Figura 70 – Relé de proteção Mitsubishi MDT/MFR.....	78
Figura 71 – HMI nível 2: SCADA.....	82
Figura 72 – HMI nível 2: Subestação 01.....	82
Figura 73 – HMI Nível 2: Subestação 02.....	83
Figura 74 – SCADA: Visão geral.....	83

Figura 75 – SCADA: Alarmes.....	84
Figura 76 – Cilindro de FM200.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva pressão x temperatura do SF ₆ em equipamentos elétricos.....	25
Gráfico 2 – Relação pressão x temperatura do densímetro.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação da densidade conforme a pressão submetida ao gás SF ₆	25
Tabela 2 – Variação da pressão conforme temperatura submetida ao gás SF ₆	25
Tabela 3 – Tipos de barramentos e suas características.....	55
Tabela 4 – Codificação ANSI / IEC 61850 de atuação de proteção.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
NR	Norma Regulamentadora
kV	Quilo-volt
V	Volt
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
GIS	Subestação Isolada a Gás
TP	Transformador de Potencial
TC	Transformador de Corrente
g	Gramas
l	Litro
°C	Grau Celsius
g/l	Gramas por Litro
lb/ft ³	Libra por Pé Cúbico
kA	Quilo-Ampere
A	Ampere
bar	Unidade de pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	15
1.2	Motivação.....	15
1.3	Relevância do estudo.....	16
1.4	Estrutura do estudo.....	16
1.5	Limitações do estudo.....	16
2	SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.....	17
2.1	Classificação das subestações elétricas quanto ao nível de tensão elétrica...	17
2.1.1	<i>Baixa tensão</i>.....	17
2.1.2	<i>Média tensão</i>.....	17
2.1.3	<i>Alta tensão</i>.....	17
2.1.4	<i>Extra alta tensão</i>.....	18
2.2	Classificação das subestações elétricas quanto a função.....	18
2.2.1	<i>Subestação elevadora</i>.....	18
2.2.2	<i>Subestação abaixadora</i>.....	18
2.2.3	<i>Subestação de transmissão</i>.....	19
2.2.4	<i>Subestação de subtransmissão</i>.....	19
2.2.5	<i>Subestação de distribuição</i>.....	19
2.2.6	<i>Subestação de manobra</i>.....	19
2.2.7	<i>Subestação Conversora</i>.....	19
2.3	Classificação das subestações elétricas quanto ao tipo de instalação.....	20
2.3.1	<i>Subestação ao tempo</i>.....	20
2.3.2	<i>Subestação abrigada</i>.....	20
2.3.3	<i>Subestação blindada</i>.....	20
2.3.4	<i>Subestação Móvel</i>.....	21
2.4	Classificação das subestações elétrica quanto ao modelo de operação.....	21
2.4.1	<i>Subestação elétrica não automatizada</i>.....	21
2.4.2	<i>Subestação elétrica semiautomatizada</i>.....	22
2.4.3	<i>Subestação elétrica automatizada</i>.....	22
3	SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS SF6.....	23
3.1	Introdução.....	23

3.2	Hexafluoreto de Enxofre (SF6)	23
3.2.1	Características do gás SF6	24
3.2.2	Aplicações do gás SF6	26
3.3	Tipos de Equipamentos de uma subestação isolada a gás SF6	26
3.3.1	Para-raio (LA - Lightning Arrester)	26
3.3.2	Transformador de potencial (TV – Voltage or Potential Transformer)	28
3.3.3	Transformador de corrente (TC - Current Transformer)	32
3.3.4	Chave seccionadora (DS – Disconnecting Switch)	35
3.3.5	Chave seccionadora de aterramento (ES – Earthing Switch)	38
3.3.6	Disjuntor (CB – Circuit Breaker)	40
3.3.7	Transformador de potência (Trafo – Power Transformer)	44
3.3.8	Resistor de Aterramento (NGR – Neutro Ground Resistor)	54
3.3.9	Barramentos (Bus Bar)	55
3.3.10	Bucha (Electric bushing)	58
3.3.11	Densímetro	61
3.3.12	Detector de tensão (VD – Voltage Detector)	63
3.3.13	Anunciador de alarmes	64
3.3.14	Sistema de detecção de arco	65
3.3.15	Disco de ruptura	67
3.3.16	Retificador	68
3.3.17	Banco de baterias e carregador	69
3.3.18	Fonte de alimentação ininterrupta (UPS – Uninterruptible Power Supply)	70
3.3.19	Regulador de tensão automático (AVR – Automatic Voltage Regulator)	74
3.3.20	Relé de proteção	74
3.3.21	SCADA / HMI	81
3.3.22	SPCI	84
4	CONCLUSÃO	86
5	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para o dia a dia das pessoas. Porém, a utilização de energia elétrica no Brasil, hoje, só é possível devido ao desenvolvimento da forma como se transporta essa energia até as pessoas de todo o país, que é através das linhas de transmissão e subestações elétricas.

Uma subestação elétrica é determinada pelo conjunto de módulos ou equipamentos que são utilizados e instalados de forma integrada entre si, dentro de uma mesma área delimitada, com acesso restrito para a segurança das pessoas e com a finalidade de transportar fluxos de energia em sistema de potência, assim, servindo ao sistema elétrico da melhor maneira possível, onde houver maior necessidade.

Conforme a Resolução Normativa ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010 (Diário Oficial de 15 de set. 2010, seção 1, p. 17) uma subestação é composta por dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem.

Criar, projetar e construir uma subestação elétrica isolada a gás Hexafluoreto de enxofre (SF₆) é uma atividade bastante complexa que exige muita atenção, responsabilidade e multidisciplinaridade entre as pessoas envolvidas. É necessário o envolvimento de muitos profissionais, que na maior parte deles são especializados no assunto com a finalidade de atender perfeitamente a todas as etapas da obra.

O processo de implantação de uma subestação elétrica isolada a gás SF₆ em um determinado local é desenvolvido em várias etapas que dependem de uma necessidade específica de uma região, cidade ou uma planta industrial para atender um cliente específico.

Na etapa do projeto é onde são realizados todos os estudos específicos para determinar todas as características da subestação como: a configuração de barra da futura subestação elétrica isolada a gás SF₆, as principais características dos equipamentos elétricos de manobra, proteção e controle que ficarão no pátio da subestação. Estas informações devem ser estabelecidas todas conforme as normas já estabelecidas e conforme autorização dos órgãos responsáveis.

Assim, após todos os estudos realizados pode-se chegar à conclusão de todo o projeto da subestação, em que já se tem definido o seu arranjo físico, malha de terra, o sistema de comando, controle e proteção, serviços auxiliares, instalações secundárias, as estruturas de alvenaria e infraestrutura geral, entre outros itens, como as análises de segurança e meio ambiente do local.

Com a etapa do projeto finalizada, todo o material já adquirido e toda a equipe disponível no local é dado início a fase da obra de construção da subestação elétrica em que são montadas todas as estruturas físicas e os equipamentos necessários que foram dimensionados pelos projetistas.

Na etapa final do gerenciamento de conclusão da obra de construção da subestação isolada a gás SF₆, concluindo as obras, é realizado o comissionamento dos equipamentos. Nessa fase do projeto são realizados todos os testes, assim, verificando a operacionalidade de todos os equipamentos já instalados, acompanhado de todos os laudos e manuais de operação e manutenção da subestação elétrica, por fim, liberando a subestação elétrica para iniciar a operação.

Uma vez iniciada a operação da subestação isolada a gás SF₆ ela poderá sofrer ampliações ao longo do tempo e paradas programadas para a manutenção dos equipamentos conforme a necessidade do equipamento.

Assim, espera-se que uma subestação elétrica isolada a gás SF₆ proporcione confiabilidade, facilidade e segurança nos momentos de manutenção, operação, ampliação e que os equipamentos de manobra, controle e proteção atuem perfeitamente conforme a sua necessidade de operação.

As subestações elétricas, de forma geral, podem ser classificadas quanto ao nível de tensão, isolamento, a sua função e quanto ao seu tipo de instalação. Todos esses critérios são definidos na etapa do projeto conforme a finalidade definida para a instalação da subestação e necessidade do cliente ou do lugar pré-estabelecido onde ficará a subestação isolada a gás SF₆.

1.1 Objetivos

Como principal objetivo deste trabalho, além dos conceitos básicos e fundamentos sobre subestações elétricas, é explicar as características gerais, mostrar os equipamentos utilizados e as particularidades e funcionalidades referentes a uma subestação elétrica isolada a gás SF₆ e a importância no setor industrial atualmente.

Por fim, também é apresentado a realização de uma análise técnica que provém determinar toda as vantagens da utilização de uma subestação elétrica isolada a gás SF₆.

1.2 Motivação

Este trabalho tem como principal motivação o interesse no conhecimento específico de subestações elétricas. Para compor também um material didático que possa ser útil, posteriormente, na utilização de alunos e engenheiros mediante que nas disciplinas que fazem menção a subestações elétricas. Visto que a abordagem sobre as subestações elétricas

isoladas a gás SF₆ são bem superficiais já que ela é um conhecimento bem específico, porém já vem começando a ser bastante optada por diversas empresas no Brasil devido aos benefícios que a sua utilização traz a empresa.

1.3 Relevância do estudo

O assunto abordado nesse trabalho de conclusão de curso ajuda a complementar algumas disciplinas que mencionam ou possuem o foco em subestações elétricas. Dentre elas temos por exemplo as disciplinas de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica ou Instalações Elétricas Industriais. Elas possuem a ideia de fornecer aos alunos os conhecimentos referentes as subestações elétricas, porém, para uma subestação elétrica isoladas a gás SF₆ não se é dado tanto destaque como em outras subestações.

1.4 Estrutura do estudo

Este trabalho de conclusão de curso está dividido em quatro capítulos em que os mesmos citados estão descritos, estruturados, organizados e definidos conforme predisposição a seguir.

No primeiro capítulo, tem-se o espaço deste trabalho destinado a Introdução, em que contempla as informações iniciais como também sobre o tema que se trata, o objetivo, a motivação, a importância e limitações do estudo deste trabalho de conclusão de curso.

No segundo capítulo, tem-se a abordagem do tema referente as subestações elétricas industriais sendo realizado as suas descrições, as especificações, os seus detalhamentos construtivos em que serão apresentadas, juntamente, com as suas vantagens e desvantagens conforme aplicação adotada pelo projetista.

Já no terceiro capítulo, tem-se toda a descrição e detalhamento referente ao tema principal deste trabalho, ou seja, todos os comentários são voltados a apresentar os equipamentos de uma subestação isolada a gás SF₆ para alta tensão.

Por fim, no quarto e último capítulo temos a conclusão deste trabalho em que se comenta sobre todos os descritivos de subestações elétricas e como a subestação isolada a gás SF₆ se destaca quando comparada a outros modelos de subestações.

1.5 Limitações do estudo

Como o tema subestações elétricas isolada a gás SF₆ ser um assunto específico e de bastante complexidade. Assim, apesar da quantidade de material para pesquisa se tratando de subestações elétrica ser bastante amplo, quando se trata de subestações isoladas a gás SF₆ a quantidade de material de pesquisa já reduz significativamente e, às vezes, é pouco explicativa. Logo, para compor o conteúdo técnico deste trabalho está sendo utilizado alguns manuais de fabricantes, notas de aula e alguns livros para pesquisa.

2 SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

Este capítulo irá tratar sobre a definição e os conceitos básicos gerais sobre subestações elétricas de alta tensão, com foco nas subestações elétricas industriais. Assim, será possível observar as diferenças entre seus modelos e características específicas que podem ser adotadas conforme a necessidade da instalação.

2.1 Classificação das subestações elétricas quanto ao nível de tensão elétrica

2.1.1 Baixa tensão

De forma geral são consideradas subestações elétricas de baixa tensão aquelas que compreendem o limite máximo em seus níveis de tensão elétrica até 1 kV em corrente alternada ou 1,5 kV em corrente contínua. Geralmente, utilizada para atender empresas de pequeno porte ou para que seja possível a funcionalidade de uma carga específica conforme a necessidade de utilização do cliente. As mesmas, na maioria dos casos, utilizam equipamentos e proteções básicas e comumente optam-se por não serem automatizadas. Vale ressaltar que em muitos desses casos pode-se encontrar também a extra baixa tensão como um dos níveis de tensão de trabalho. O seu limite máximo permitido é até 50 V em corrente alternada e 120 V em corrente contínua.

2.1.2 Média tensão

Conforme a NBR 14039/2005 de forma geral são consideradas subestações elétricas de média tensão aquelas que compreendem o limite máximo em seus níveis de tensão elétrica entre 1 kV e 36,2 kV em corrente alternada. Geralmente, utilizada para atender empresas de pequeno e médio porte, como também para transmissão e distribuição de energia elétrica e para que seja possível a funcionalidade de uma ou várias cargas específicas conforme a necessidade de utilização do cliente. Neste momento, na maioria dos casos, elas utilizam equipamentos e proteções já diferenciados, mais elaborados, e comumente optam-se por serem semiautomatizadas ou completamente automatizadas. Vale ressaltar também que em muitos desses casos os limites de níveis de tensão de trabalho mais usuais são os de 6,6 kV, 13,8 kV, 23 kV e 34,5 kV.

2.1.3 Alta tensão

De forma geral são consideradas subestações elétricas de alta tensão aquelas que compreendem o limite máximo em seus níveis de tensão elétrica entre 34,5 kV e 230 kV em corrente alternada ou maior que 1,5 kV em corrente contínua, conforme a NR-10/2004. Geralmente, utilizada para atender empresas de médio e grande porte, como também para transmissão de energia elétrica ou para que seja possível a funcionalidade de uma carga

especifica conforme a necessidade de utilização do cliente. As mesmas, na maioria dos casos, utilizam equipamentos e proteções específicas, bem mais detalhadas, complexas e comumente optam-se por serem completamente automatizadas com sistemas supervisórios de manobra, proteção e controle. Vale ressaltar também que em muitos desses casos os limites de níveis de tensão de trabalho mais usuais são os de 69 kV, 138 kV e 230 kV.

2.1.4 Extra alta tensão

De forma geral são consideradas subestações elétricas de alta tensão aquelas que compreendem os limites de níveis de tensão elétrica acima de 230 kV em corrente alternada. Geralmente, utilizada para atender empresas de grande porte, como também para transmissão de energia elétrica ou para que seja possível a funcionalidade de uma carga específica conforme a necessidade de utilização do cliente. As mesmas, na maioria dos casos, utilizam equipamentos e proteções específicas, bem mais detalhadas, complexas e comumente optam-se por serem completamente automatizadas com sistemas supervisórios de manobra, proteção e controle. Vale ressaltar também que em muitos desses casos os limites de níveis de tensão de trabalho mais usuais são os de 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 750kV.

2.2 Classificação das subestações elétricas quanto a função

2.2.1 Subestação elevadora

As subestações elevadoras têm por finalidade principal elevar os níveis de tensões criadas pelas usinas geradoras com o objetivo de diminuir a corrente elétrica para assim, conseqüentemente, em seus equipamentos, ser possível utilizar condutores de espessura menor para poder transportar uma alta demanda de energia de lugar para o outro reduzindo as perdas, facilitando a metodologia de implantação no sistema elétrico e garantindo um sistema elétrico de potência mais seguro. Geralmente, esses modelos de subestação são utilizados na saída das usinas geradoras, que geram em média tensão, e elevam a tensão para transmissão e subtransmissão.

2.2.2 Subestação abaixadora

As subestações abaixadoras têm por finalidade principal baixar os níveis de tensões nos condutores que transmitem a energia elétrica criadas pelas usinas geradoras. Geralmente são localizadas próximo aos centros de carga ou para suprir uma indústria ou pólo industrial, no final de um sistema de transmissão. Como a corrente elétrica aumenta com baixos níveis de tensão aplicados, os seus equipamentos precisam ser readequados para a utilização de condutores de espessura maior para poder transportar a demanda de energia de lugar para o outro com segurança e diminuindo possíveis interferências causadas pelo sistema elétrico.

2.2.3 Subestação de transmissão

As subestações de transmissão têm por finalidade principal se conectarem as linhas de transmissão para transportar toda a energia gerada pelas usinas sem derivações. O objetivo das subestações de transmissão é elevar a tensão através de grandes transformadores para reduzir a corrente a ser transportada e, assim, utilizar cabos de seção menor e, por fim, ser possível a transmissão de longa distância de um grande fluxo de potência de um lugar para outro de forma apropriada e segura.

2.2.4 Subestação de subtransmissão

As subestações de subtransmissão têm por finalidade principal conduzir toda a energia transportada pelas subestações de transmissão até as devidas subestações de ramificações, ou seja, subestações de distribuição. As subestações de subtransmissão possuem derivações e anéis na sua configuração esquemática.

2.2.5 Subestação de distribuição

As subestações de distribuição têm por finalidade principal receber toda a energia que foi transportada pelas subestações de transmissão e subtransmissão e direcionar a mesma para os consumidores finais (cargas). As subestações de distribuição fazem isso utilizando um conjunto de equipamentos objetivando a redução da tensão para que o fornecimento de energia elétrica seja realizado no nível de distribuição primária, assim, chegando ao consumidor final uma energia de qualidade e adequada conforme a sua necessidade. Elas podem pertencer às concessionárias ou a grandes consumidores.

2.2.6 Subestação de manobra

As subestações de manobra têm por finalidade principal interligar circuitos que possuam o mesmo nível de tensão, assim, sendo possível obter várias configurações como, por exemplo, o seccionamento de circuitos elétricos, chaveamentos de linhas de transmissão, por fim, trazendo mais proteção a instalação atuando na retirada de operação de equipamentos em casos de anormalidades.

2.2.7 Subestação Conversora

As subestações conversoras são configurações que tem por finalidade principal atender aos sistemas de transmissão em corrente contínua (CC), sendo estas dividida em subestações retificadoras e inversoras para ajustar a tensão elétrica conforme necessidade desejada como também para atender aos serviços auxiliares da subestação para dar suporte a operação dos equipamentos.

2.3 Classificação das subestações elétricas quanto ao tipo de instalação

As subestações elétricas podem ser caracterizadas pelo tipo de instalação. Dentre eles temos as que são ao tempo, abrigada, blindada e móvel, respectivamente.

2.3.1 Subestação ao tempo

As subestações ao tempo, ou também externas, são caracterizados por serem, predominantemente, construídas ao ar livre. Esse tipo de instalação apesar de exigir a utilização de uma grande área para a instalação, entretanto, é o modelo com menor custo de implantação quando comparado aos custos de implantação de outros modelos de subestação.

É necessário também a utilização de máquinas e equipamentos elétricos que atendam ao modelo de operação ao tempo pois ficarão sujeitos a condições atmosféricas adversas como sol, chuva, poluição, vento, entre outros, que com o passar dos anos irá gerar uma depreciação maior e mais rápida dos componentes e estruturas das subestação ocasionando, assim, um maior custo na manutenção dos equipamentos pois a necessidade da mesma será mais frequente quando comparada aos outros modelos de subestações e nos equipamentos elétricos ocorrerá a redução da eficácia de isolamento.

2.3.2 Subestação abrigada

As subestações abrigadas são caracterizadas por serem construídas em lugares fechados, assim, sendo excluindo a possibilidade dos equipamentos ficarem sujeitos as condições atmosféricas como sol, chuva, poluição, vento, entre outros. Esse tipo de instalação apesar de exigir a utilização de uma área menor para a instalação, contudo, possui um maior custo de implantação quando comparado aos custos de implantação de uma subestação ao tempo devido as estruturas físicas de proteção e aos equipamentos específicos para esse modelo de implantação de instalação.

É necessário também a utilização de máquinas e equipamentos elétricos que atendam ao modelo de operação de subestação abrigada, em que possuem como vantagens uma depreciação menor dos equipamentos, já que os mesmos não estão sujeitos as condições atmosféricas e ocasionando, assim, um menor custo na manutenção dos equipamentos pois a necessidade da mesma será menos frequente quando comparada a uma subestação ao tempo.

2.3.3 Subestação blindada

As subestações blindadas podem ser construídas tanto ao ar livre como também sendo abrigadas, porém são caracterizadas por possuírem um sistema físico de operação, estrutural e de proteção específico e diferenciado quando comparado aos outros modelos de aplicação de subestações mencionados anteriormente.

Nas subestações blindadas, diferentemente das subestações ao tempo e abrigadas, que possuem como seu principal meio de extinção de arco elétrico o ar ou vácuo, as

subestações isoladas a gás SF₆ são caracterizadas também por possuírem o seu barramento de conexão juntamente com todos os outros equipamentos enclausurados em tubulações e possuem como principal meio de extinção de arco elétrico para proteção dos componentes elétricos o gás Hexafluoreto de Enxofre (SF₆).

Para a implantação de subestações blindadas é necessário um conhecimento técnico e treinamentos específicos, assim, por se tratar de uma tecnologia nova quando comparada aos outros modelos de subestações e a necessidade de equipamentos específicos logo acaba tendo um valor agregado maior em relação a subestação ao tempo e abrigada, porém ganhar-se uma grande economia nos quesitos de espaço, manutenção e operação já que as subestações blindadas são bem mais compactas e possuem o tempo de manutenção maior e a operação é mais simples.

2.3.4 Subestação Móvel

As subestações móveis são caracterizadas, principalmente, pelo seu recurso de mobilização de um lugar para o outro. Tem como principal objetivo auxiliar em manutenções elétricas de subestações. Com uma subestação móvel é possível realizar a manutenção de uma subestação sem a necessidade de perda de carga, desde que o cliente já possua uma estrutura específica já montada.

2.4 Classificação das subestações elétrica quanto ao modelo de operação

As subestações elétricas podem ser caracterizadas também conforme o seu modelo operacional de campo de acordo com o seu tipo de instalação presente na subestação. Dentre eles temos as subestações elétricas que não são automatizadas, as que são semi automatizadas e as que são totalmente automatizadas.

2.4.1 Subestação elétrica não automatizada

As subestações elétricas não automatizadas são as instalações elétricas que possuem a necessidade obrigatória da presença do operador no local para a realização de qualquer manobra dos equipamentos elétricos da subestação, confirmação de status de equipamentos, registro de falhas e ocorrências de rotina, entre outras atividades. Vale ressaltar, também, que para esse modelo subestação adotada exige-se um elevado nível técnico da equipe de operação, sendo necessário vários treinamentos específicos da área de atuação ressaltando que qualquer manobra realizada de forma errada pelo operador poderá gerar uma falha catastrófica podendo acarretar em danos materiais e pessoais, já que o operador é o responsável por o processo de liberação e normalização de equipamentos da subestação.

2.4.2 Subestação elétrica semi automatizada

As subestações elétricas semi automatizadas, diferente das subestações não automatizadas, já possuem sistemas supervisórios instalados em computadores localizados na subestação, sendo possível obter a indicação de status de equipamentos e proteções atuadas. Esse modelo de subestação conta também com a presença de intertravamentos eletromecânicos em seus equipamentos com o objetivo de impedir o operador de executar alguma manobra indevida nos equipamentos, assim, tornando a operação da subestação mais segura.

2.4.3 Subestação elétrica automatizada

As subestações elétricas automatizadas já possuem sistemas supervisórios instalados em computadores localizado a distância, assim, tornando capaz a visualização de status, proteções e operação dos equipamentos da subestação elétrica serem realizadas sem a presença do operador no local. Juntamente com os intertravamentos eletromecânicos, relés de proteção e outros equipamentos instalados na subestação, assim, consegue-se garantir maior segurança operacional das instalações evitando erros operacionais.

3 SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS SF6

Este capítulo irá tratar sobre a definição e os conceitos básicos gerais sobre subestações elétricas de alta tensão a gás SF6. Assim, será possível observar as diferenças entre seus modelos, vantagens, desvantagens e características específicas que podem ser adotadas conforme a necessidade da instalação.

O sistema apresentado comporta a carga instalada de 720 MW para uma subestação isolada a gás SF6 mantendo disponível os seguintes níveis de tensão: 230 kV, 138 kV e 33 kV. Nele será possível observar os seus equipamentos e suas características no sistema elétrico.

3.1 Introdução

Com o passar do tempo e com o desenvolvimento populacional foi observado que com o grande crescimento das cidades houve também a necessidade de uma melhoria estrutural no setor elétrico. Assim, quando possível, opta-se pelas condições mais favoráveis e mais baratas, porém conforme as necessidades e as problemáticas apresentadas com o decorrer do tempo percebeu-se a necessidade de uma nova tecnologia a fim de suprir todos os quesitos apresentados, como elevados níveis de tensão, pouco espaço de implantação e níveis de proteção, controle e automações mais específicos.

Logo, a fim de atender as necessidades de instalação de subestações em áreas cada vez menores, apesar dos custos elevados, principalmente no nível de geração, transmissão e subtransmissão, estimula-se a adoção de soluções mais compactas e mais eficientes, dentre elas, a mais comum temos as subestações isoladas a gás SF6 (GIS).

As subestações isoladas a gás SF6 (GIS) se destacam quando se tem a necessidade de implantação de uma subestação em áreas menores. As vantagens é que além da compactação, possuem seus barramentos e equipamentos todos enclausurados em uma tubulação blindada e como meio isolante, diferentemente do ar ou vácuo, no sistema GIS utiliza-se o gás Hexafluoreto de Enxofre (SF6) que apesar de apresentar um custo mais elevado de implantação também possui um tempo de manutenção bastante maior e longa vida útil devido as proteções mais específicas.

Assim, uma subestação nessa modalidade acaba por se tornar mais conveniente e eficiente para se utilizar em algumas instalações mais específicas por serem mais compactas e com um período de manutenção mais prolongado.

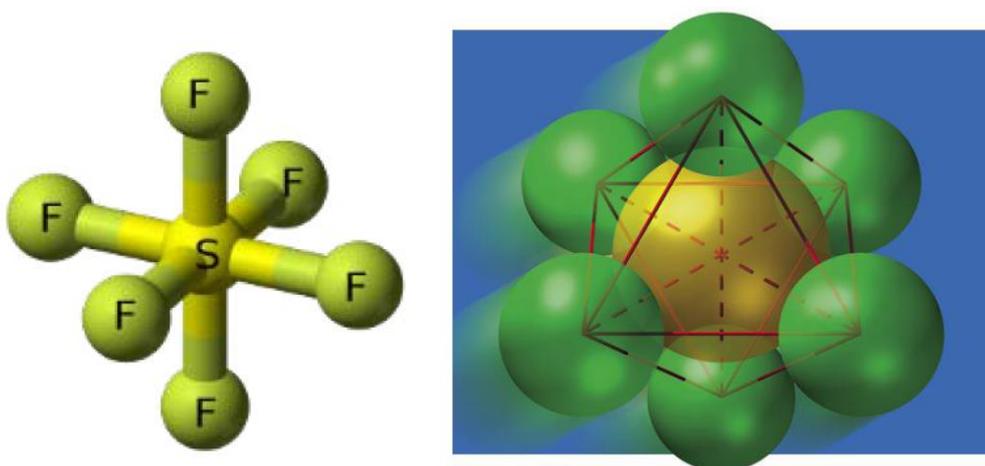
3.2 Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)

O gás SF₆, por se tornar o principal ativo desse modelo de aplicação de subestações elétricas que vêm sendo adotadas, ganhou bastante atenção nos estudos de pesquisas sendo, assim, hoje possível determinar metodologias de aplicação, desenvolvimento de novos equipamentos e adotar medidas preventivas para falhas elétricas conforme sua utilização, sendo, assim, possível ter um planejamento de operação e manutenção mais confiável e simplificado.

3.2.1 Características do Gás SF₆

O gás SF₆ ganhou bastante atenção por volta de 1960, em que ele começou a ser utilizado pela indústria de equipamentos elétricos de alta tensão como dielétrico. Apesar dos pesquisadores terem estudado vários outros tipos de gases para aplicar nos equipamentos do setor elétrico, o SF₆ foi o que se apresentou mais estável e confiável para a aplicação, vale lembrar que, também, as alternativas tecnológicas não optantes pelo gás SF₆ não estão livres de agentes externos e impactos ambientais, além de propiciarem menor eficiência operacional, algumas com até maiores custos e maiores riscos para implantação e segurança do equipamento. O SF₆ além de ser um gás sintético, ele é quimicamente formado por uma molécula de enxofre juntamente com seis moléculas de flúor e, conforme é apresentada na figura 1:

Figura 1: Molécula de Hexafluoreto de enxofre (SF₆).



Fonte: Manual Cigre – Manuseio, segurança e manutenção do SF₆ em equipamentos elétricos.

Com essa configuração, o gás SF₆ consegue, então, atribuir qualificações desejáveis de um dielétrico, tornando-se, assim, bastante interessante a sua utilização no setor elétrico com a função de agente extintor de arco elétrico em equipamentos elétricos. O SF₆ possui como principais características além de não ser inflamável, por ser inerte, possuir boa

isolação elétrica, não é tóxico, é quimicamente e termicamente estável e ainda é auto regenerável.

Fisicamente o gás SF₆ possui uma densidade de 6,139 g/L a temperatura de 21°C e a pressão de 1 bar, assim, por ser um dos gases mais pesados já encontrado ele chega a ser até 5 vezes mais pesado que a densidade do ar. A variação da densidade do gás SF₆ pode seguir conforme a variação de pressão do ambiente, de acordo com a tabela 1:

Tabela 1 – Variação da densidade conforme a pressão submetida ao gás SF₆.

Pressão (atm)	Densidade do gás a 21,1°C	
	g/L	lb/ft ³
1	6,139	0,387
2	12,4	0,77
3	18,8	1,17
5	32,3	2,02
10	69,6	4,34

Fonte: Manual Cigre – Manuseio, segurança e manutenção do SF₆ em equipamentos elétricos.

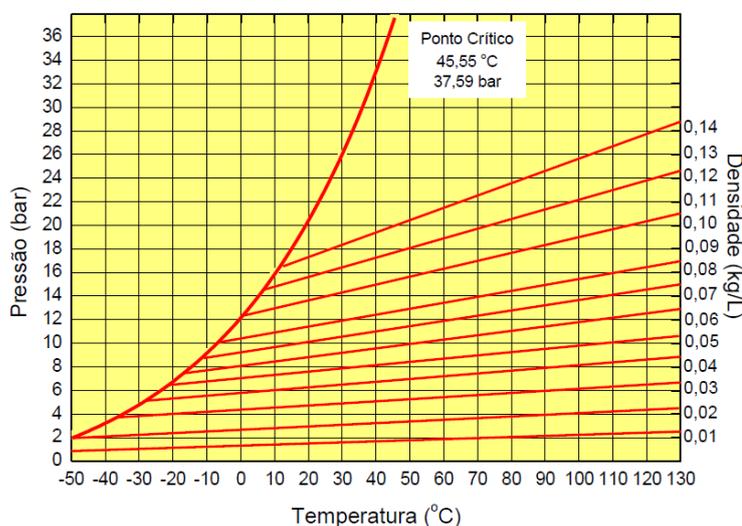
Em equipamentos do setor elétrico, o gás SF₆ é utilizado, totalmente, em sua forma de gás ou vapor sendo que a sua pressão pode variar conforme a temperatura do ambiente e dos equipamentos. Essa variação pode ser observada na tabela 2 e gráfico 1:

Tabela 2 – Variação da pressão conforme temperatura submetida ao gás SF₆.

Temperatura (°C)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
Pressão (bar)	2,34	2,87	3,49	4,20	5,02	5,95	7,01	8,19	9,52	11,01
Temperatura (°C)	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
Pressão (bar)	12,65	14,47	16,47	18,67	21,08	23,72	26,62	29,79	33,27	37,13

Fonte: Manual Cigre – Manuseio, segurança e manutenção do SF₆ em equipamentos elétricos.

Gráfico 1 - Curva pressão x temperatura do SF₆ para pesos específicos constante.



Fonte: Manual Cigre – Manuseio, segurança e manutenção do SF₆ em equipamentos elétricos.

Quimicamente o gás SF₆ é inerte, estável e a sua reatividade é uma das mais baixas quando comparada a outras substâncias, podendo ser permitido a sua utilização em ambientes e/ou estar exposto a altas temperaturas sem ser alterado sua composição inicial. Porém em casos de descargas atmosféricas acaba ocorrendo a decomposição do gás conforme a energia gerada no momento. Em casos de arcos elétricos o hexafluoreto de enxofre pode ser dissociado, situação esta que pode ser reversível quando o mesmo não entrar em contato com outros meios externos ou não acontecer um novo arco elétrico.

Devido a composição e a interação do gás SF₆ com a carga elementar do elétron pode-se observar e concluir que o ele possui excelentes propriedades dielétricas, logo, a sua possibilidade de extinção de arco elétrico chega a ser até 10 vezes mais eficiente que a do ar, já que o mesmo possui alta capacidade de transferência de calor e baixa temperatura de ionização do SF₆.

Assim, por ser mais eficiente, o tempo extinção de arco com a utilização do gás SF₆ chega a ser 100 vezes menor que o tempo de extinção de arco por meio do ar. Portanto, pode-se observar mais uma vantagem da utilização do gás SF₆ em equipamentos elétricos como meio isolante.

3.2.2 Aplicações do Gás SF₆

Após o período de descobertas, estudo e aprovações para a utilização do gás SF₆ então se iniciou a sua aplicação em equipamentos elétricos primeiramente pela empresa General Electric Company por volta 1960, quando foi aprovada a sua comercialização.

Hoje muitas empresas adotam a modalidade da subestação isolada a gás, assim aplicando o gás SF₆ em equipamentos elétricos como transformadores de potência, barramentos (Linhas de transmissão blindadas), cabos de alta tensão, disjuntores, isolamento de geradores de alta tensão, entre outras aplicações dentro e fora do setor elétrico.

3.3 Tipos de equipamentos de uma subestação isolada a gás SF₆

3.3.1 Para-raio (LA - Lightning Arrester)

As sobretensões existentes no sistema elétrico são devidas a descargas atmosféricas, chaveamento para energização ou desenergização de equipamentos com características predominantemente indutivas (transformadores e/ou máquinas de indução) ou capacitivas (bancos de capacitores), curto-circuito e seccionamentos rápidos de circuitos. O papel do para-raios é tido como um filtro de surtos de tensões com frequências elevadas prejudiciais ao sistema elétrico e aos seus equipamentos.

São constituídos de resistores não-lineares e podem ter atuação de várias formas:

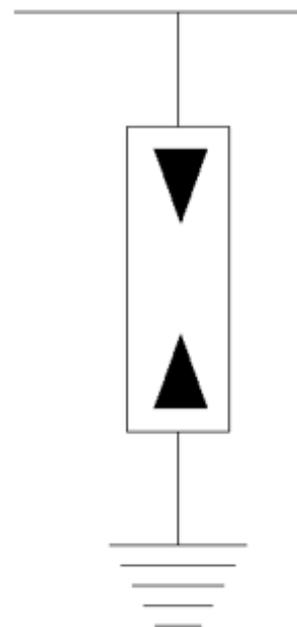
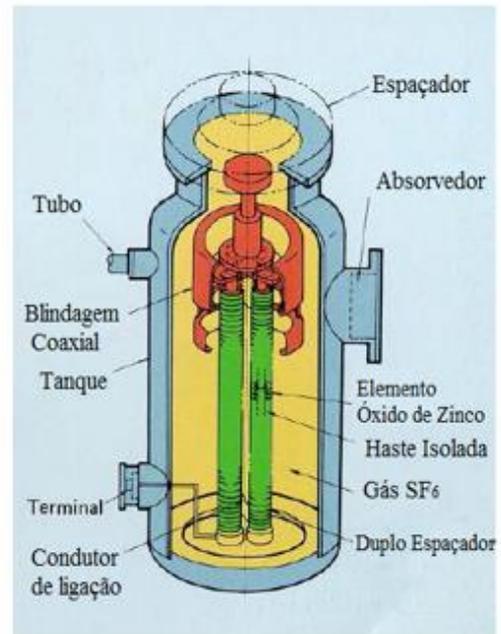
Temporária: Deslocamento de neutro do sistema

Perda de carga por abertura do disjuntor: A desconexão do disjuntor poderá elevar a tensão em todo sistema, devido à redução do fluxo de corrente na carga.

Atmosférica: Proveniente de descargas de raios.

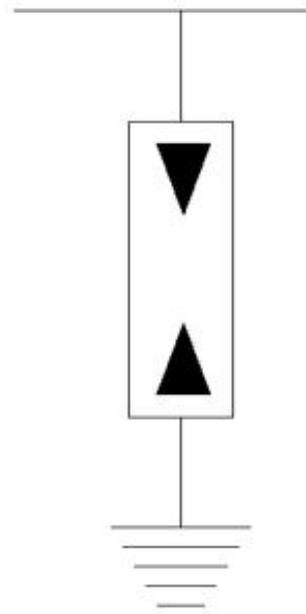
Modelo de Para-raios:

Figura 2 – Para-raio de 230 kV, representação interna, desenho técnico.



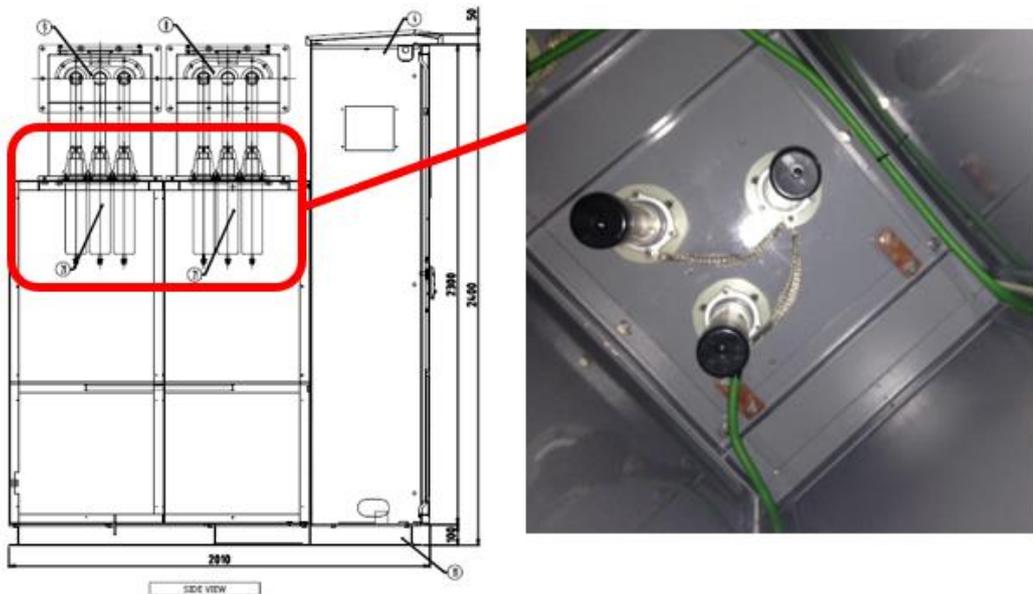
Fonte: Manual GIS SF₆.

Figura 3 – Para-raio de 138 kV, desenho técnico.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 4 – Para-raio de 33 kV, desenho técnico.



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.2 Transformador de potencial (TV – Voltage or Potential Transformer)

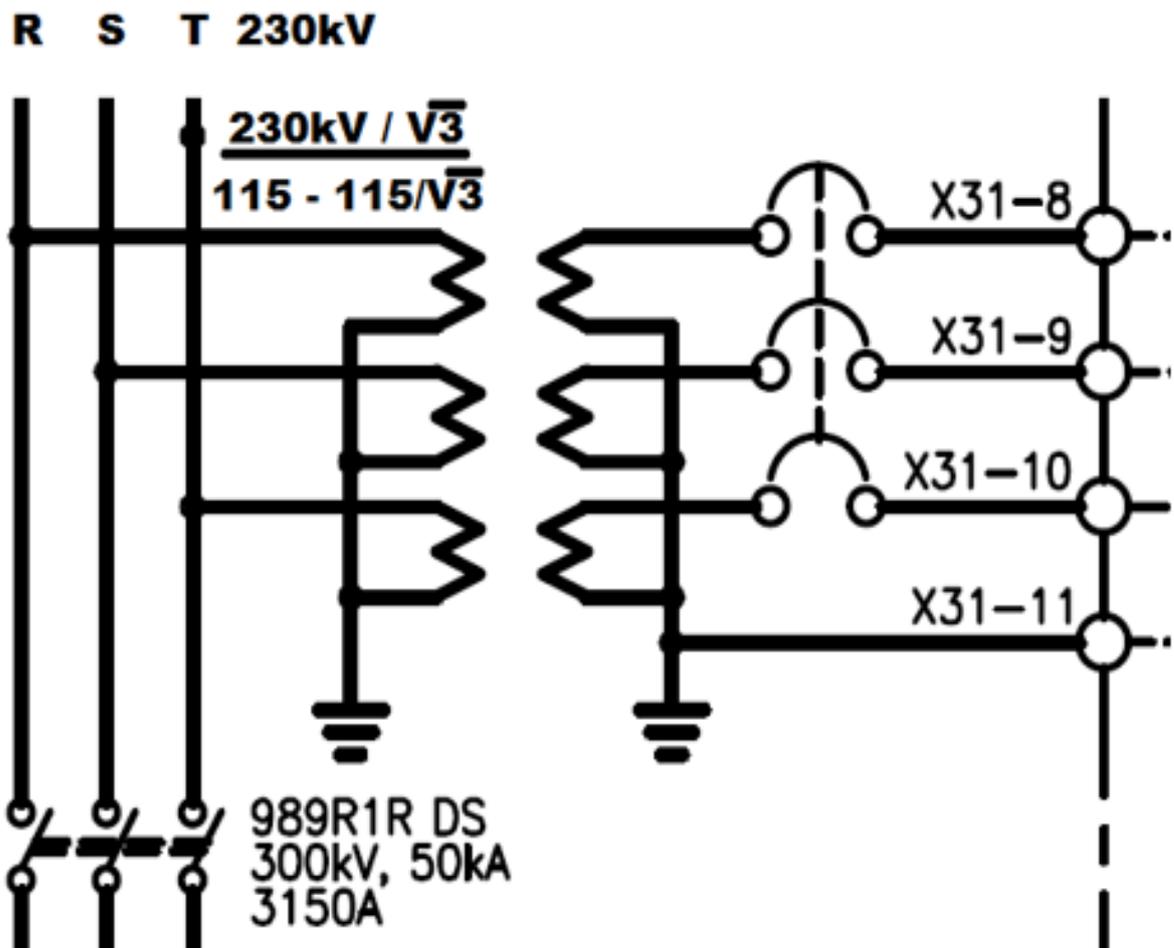
Sua função é isolar contra altas tensões e fornecer uma tensão proporcional à tensão primária, com certa precisão dentro da faixa especificada para a tensão primária, com a finalidade de proteção e medição. De forma simplificada os transformadores de potencial

possuem um enrolamento primário com muitas espiras e um enrolamento secundário com poucas espiras, onde obtemos a tensão desejada que normalmente é padronizada em 115V ou $115/\sqrt{3}$ V, desta forma os equipamentos de proteção e medição são dimensionados com isolação em baixa tensão. Normalmente são usados para alimentar equipamentos com elevada impedância interna, tais como voltímetros, bobinas de tensão de medidores de energia, entre outros. De forma a atender as seguintes prescrições:

O secundário deve ser galvanicamente separado e isolado do primário a fim de proporcionar segurança aos operadores dos instrumentos ligados ao TP;

A medida da grandeza elétrica deve ser adequada aos instrumentos que serão utilizados, tais como relés, medidores de tensão, entre outros.

Figura 5 – Diagrama unifilar de ligação do transformador de potencial de 230 kV.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 6 – Representação da parte interna e externa do TP de 230 kV.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 7 – Transformador de potencial de 230 kV de Proteção e Medição.



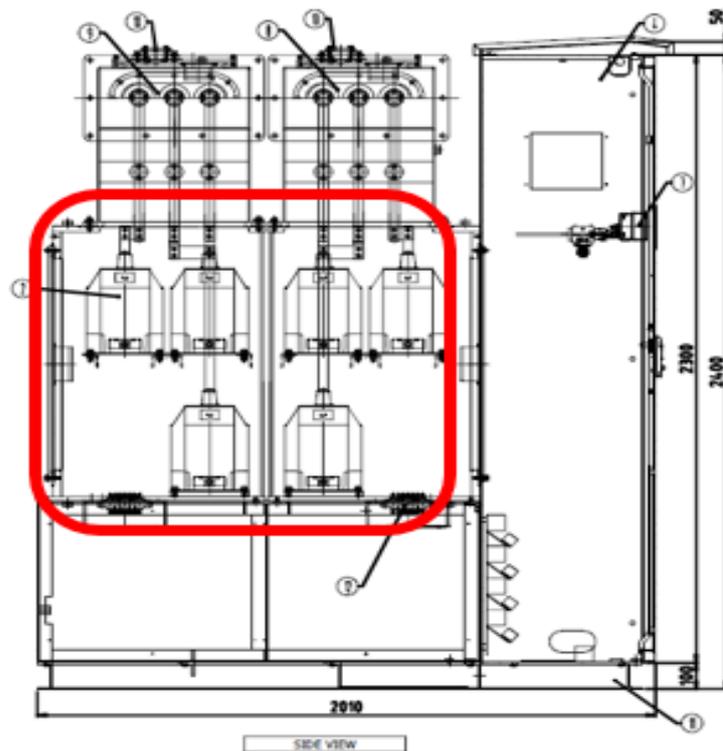
Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 8 – Transformador de potencial de 138 kV de Proteção e Medição.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 9 – Transformador de potencial de 33 kV de Proteção e Medição.



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.3 Transformador de corrente (TC - Current Transformer)

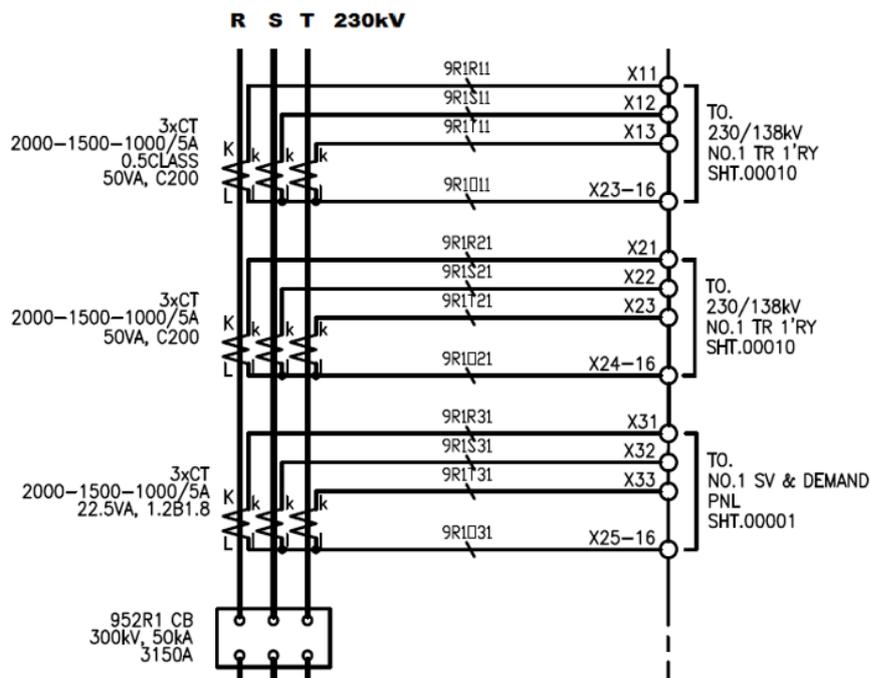
Sua função é isolar contra altas tensões e reduzir as correntes para valores seguros, fornecendo uma corrente proporcional à corrente primária, com a precisão dentro da faixa especificada. Permitindo, assim, o uso dos valores de norma com a finalidade de proteção e medição. Estes equipamentos possuem um primário com poucas espiras, e um secundário com bastante espiras. A corrente nominal é normalmente de 5 A.

Cuidados devem ser tomados para não deixar o secundário do TC aberto. Pode haver o surgimento de tensões elevadas nos terminais secundário pelo fato de não haver o efeito desmagnetizante no secundário. Tomando a corrente de excitação como a corrente primária, surgirá um fluxo magnético muito intenso no núcleo, provocando elevadas perdas no ferro, este fenômeno pode danificar a isolação do TC e levar perigo à vida dos operadores.

O tipo de TC (Transformador de Corrente) é do tipo bucha (chamado BCT) no qual os enrolamentos secundários estão distribuídos em torno de um núcleo e instalados no GIS (Gas Insulated Switchgear).

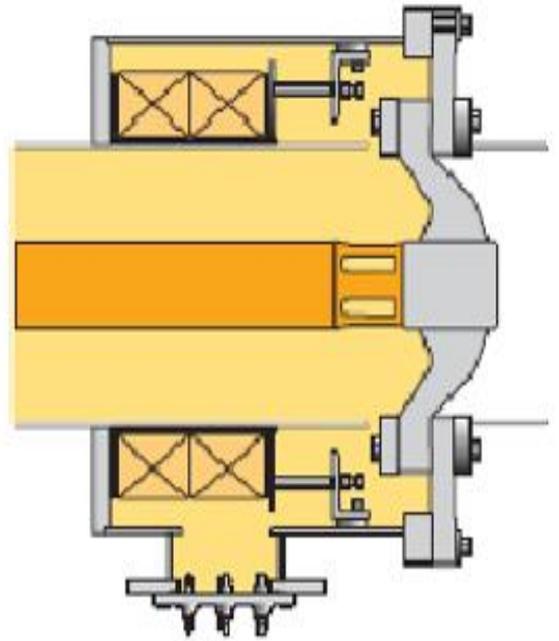
O TC é completamente isolado do enrolamento primário através da blindagem aterrada na carcaça do GIS, enquanto o próprio TC é permanentemente e completamente isolado da montagem toroidal do enrolamento secundário.

Figura 10 – Diagrama unifilar de ligação do transformador de corrente de 230 kV.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 11 – TC de 230 kV de Proteção e Medição.



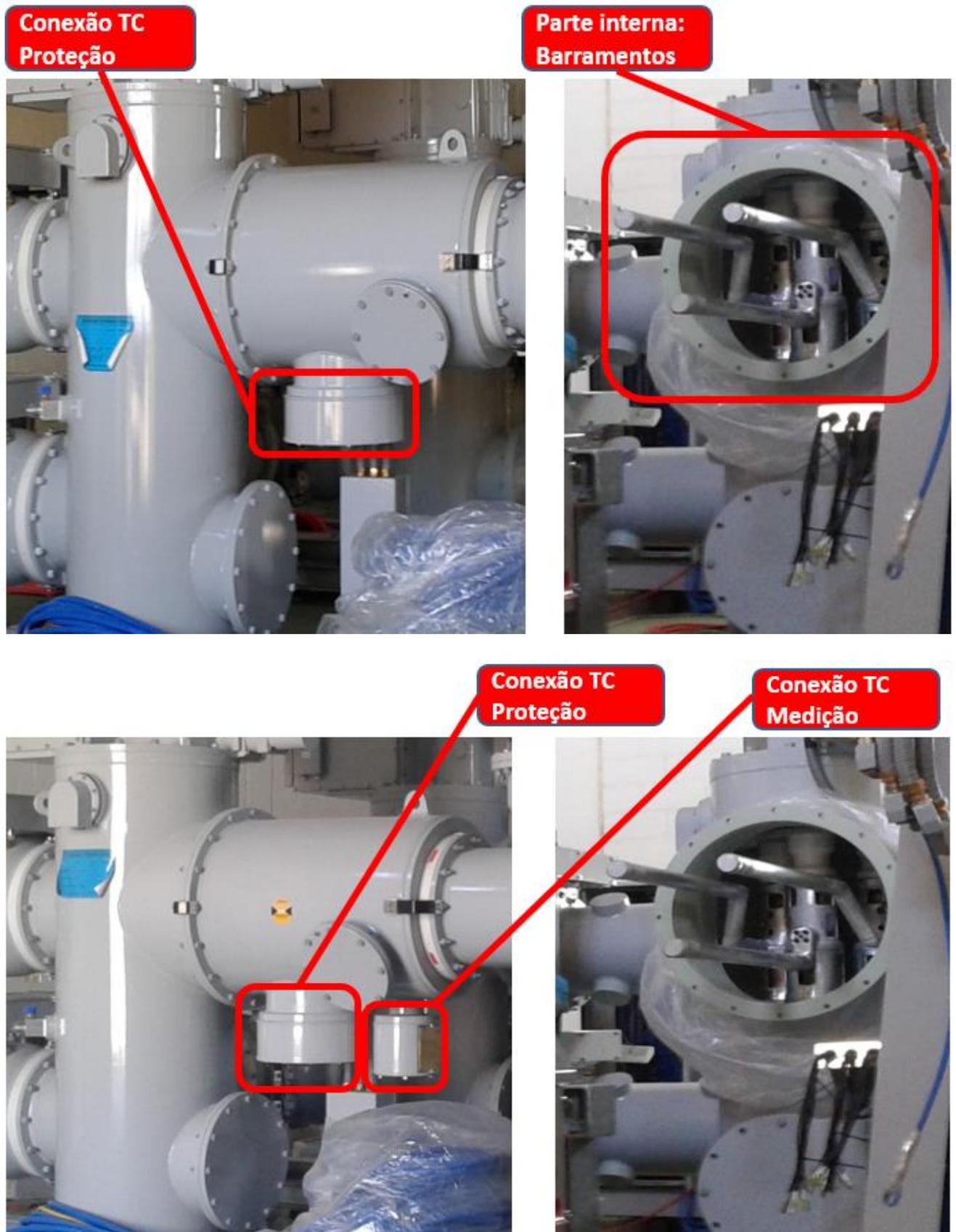
**Conexão TC
Proteção**

**Conexão TC
Medição**



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 12 – TC de 138 kV de Proteção e Medição.



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 13 – TC de 33 kV de Proteção e Medição.



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.4 Chave seccionadora (DS – Disconnecting Switch)

Dispositivo de comutação destinado a estabelecer ou interromper a corrente em um circuito elétrico. Para os seguintes níveis de tensão já citados as chaves seccionadoras podem ser do tipo comum ou combinada com uma chave seccionadora de aterramento no mesmo módulo. Todas as chaves seccionadoras são motorizadas telecomandadas pelo centro de controle, podendo ser realizado, também, manobras a distância em campo e diretamente no equipamento em local. Porém, por medidas de segurança não se aconselha realizar manobras diretamente em local no equipamento.

Chave Seccionadora – DS 230 kV

Chave seccionadora de circuito elétrico de 230 kV apresenta duas posições: aberta ou fechada. Sendo importante ressaltar que a sua operação deve ser realizada sempre sem carga, ou seja, deve-se operá-la sempre com o disjuntor aberto e sem corrente elétrica em seu circuito, assim, devido a isso a mesma apresenta intertravamentos elétricos e mecânicos impossibilitando os erros operacionais.

Figura 14 – Chave seccionadora de 230 kV.



Funções	DS – 230kV
Nº MODELO	HDMO-305C, D
Método de Operação	Atuador Motor & manual
Pressão do gás SF6	0.55Mpa.G at 20°C
Tipo	2 posições
Padrão	IEC 62271-102

Fonte: Manual GIS SF6.

Chave Seccionadora Combinada – DS / ES 138 kV

Chave seccionadora combinada de 138 kV com a função de seccionamento ou de aterrar o circuito elétrico desejado, assim, tendo a possibilidade de três situações de posições: sendo a chave aberta, fechada ou aterrada. Sendo importante ressaltar que a operação da chave seccionadora deve ser realizada sempre sem carga, ou seja, deve-se operá-la sempre com o disjuntor aberto e sem corrente elétrica em seu circuito, assim, devido a isso a mesma apresenta intertravamentos elétricos e mecânicos impossibilitando os erros operacionais.

Figura 15 – Chave seccionadora combinada de 138 kV.

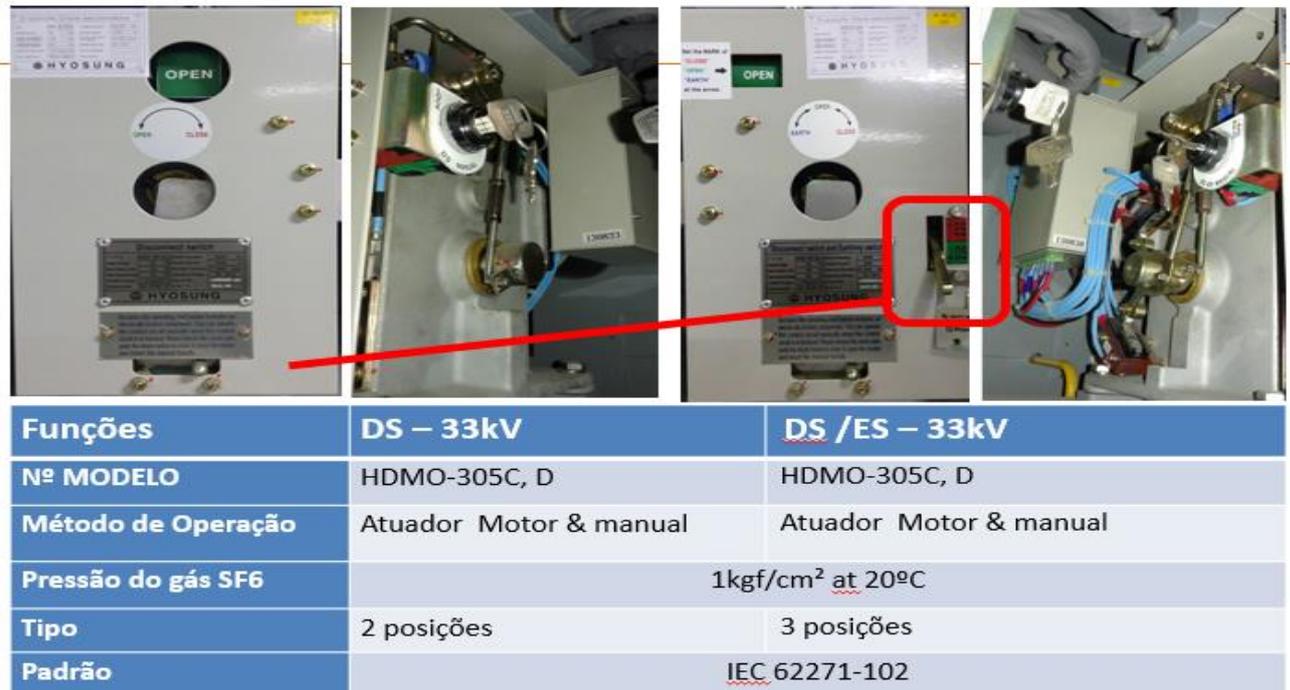


Fonte: Manual GIS SF6.

Chave Seccionadora Combinada – DS / ES 33 kV

Chave seccionadora combinada de 33 kV com a função de seccionamento ou de aterrar o circuito elétrico desejado assim tendo a possibilidade de três situações de posições: sendo ela aberta, fechada ou aterrada, conforme a configuração desejada pela a equipe de operação e manutenção da subestação. Sendo importante ressaltar que a operação da chave seccionadora deve ser realizada sempre sem carga, assim, devido a isso a mesma apresenta intertravamentos elétricos e mecânicos impossibilitando os erros operacionais, dentre eles Antes de operar deve-se selecionar o tipo de chave que se deseja operar.

Figura 16 – Chave seccionadora combinada de 33kV



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.5 Chave seccionadora de aterramento (ES – Earthing Switch)

Dispositivo de comutação destinado a estabelecer ou interromper a corrente elétrica em um circuito. Para os seguintes níveis de tensão já citados as chaves seccionadoras de aterramento podem ser do tipo comum ou combinada com uma chave seccionadora no mesmo módulo. Todas as chaves são motorizadas e telecomandadas pelo centro de controle, podendo ser realizado, também, manobras a distância em campo e diretamente no equipamento em local. Porém, sendo tomada como medida de segurança da equipe de operação e com a filosofia operacional de prevenção de acidentes e evitar danos pessoais e materiais não é permitido a realização de manobras diretamente em modo local no equipamento, assim, todas as manobras de equipamentos de alta tensão são realizadas pelo centro de controle sendo exigido apenas a presença do operador em campo para realizar a confirmação da execução da manobra e status do equipamento no local.

Chave Seccionadora de Aterramento (ES) – 230 kV

Earthing Switch – ES 230 kV: Chave seccionadora de aterramento comum.

High Speed Earthing Switch – HES 230 kV: Chave seccionadora de aterramento rápido. Chave localizada na entrada ou saída de linha de transmissão com a função de isolar o circuito desejado para a manutenção trabalhar com segurança.

Figura 17 – Chave seccionadora de aterramento de 230 kV



Funções	ES – 230kV	H-ES – 230kV
Nº MODELO	HEMO-305B	HEM-305B
Método de Operação	Atuador Motor & manual	Acionamento motor carregado por Mola & manual. Mola carregada por motor e manual
Pressão do gás SF6	0.55Mpa.G at 20°C	
Tipo	2 posições	
Padrão	IEC 62271-102	

Fonte: Manual GIS SF6.

ES 138 kV

Earthing Switch – ES 138 kV: Chave seccionadora de aterramento comum.

High Speed Earthing Swich – HES 138 kV: Chave seccionadora de aterramento rápido. Chave localizada na entrada ou saída de linha de transmissão com a função de isolar o circuito desejado para a manutenção trabalhar com segurança.

Figura 18 – Chave seccionadora de aterramento de 138 kV



Funções	ES		H-ES
Nº MODELO	HEMO-144A	HEMS-144*	HEMS-144A
Método de Operação	Motor e modo manual.		Acionado por motor, mola carregada e modo manual.
Pressão do gás SF6	0.55Mpa à 20°C		
Tipo	2 posições		
Padrão	IEC 62271-102		

Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.6 Disjuntor (CB – Circuit Breaker)

Dispositivo de manobra e proteção que permite a abertura ou fechamento de circuitos elétricos de potência em quaisquer condições de operação, seja ela normal ou anormal, como em casos de emergência e de forma manual ou automática. Vale ressaltar que para especificar um disjuntor é necessário alguns dados como tensão nominal, frequência de operação, corrente nominal, capacidade de interrupção em curto-circuito simétrico e o tempo de interrupção. Sua operação pode ser por telecomando através do centro de controle pode ser realizada com ou sem carga

Disjuntor a gás SF6 de 230 kV

O disjuntor a gás tipo HCSP-305B é um sistema de alto desempenho, com um tanque estático de grande capacidade para o circuito de gás do disjuntor. Este disjuntor possui uma estabilidade de tensão de ruptura muito boa, devido à utilização do SF6 (hexafluoreto de enxofre), excelente dielétrico e de capacidade de extinção de arco. O disjuntor HCSP-305B do circuito de gás tem as seguintes características:

Excelente performance de interrupção em falha de corrente, podendo ser usado em curto-circuito de corrente nominal de 50 kA e tensão nominal de isolamento de 245 kV. O tamanho pequeno e peso leve contribui para a redução do espaço de instalação

Alta confiabilidade: Mecanismo de funcionamento do Motor-mola é bloco construído para minimizar a tubulação e tem alta confiabilidade.

Esforço motriz reduzida devido o alto desempenho da câmara de interrupção e dotado do mecanismo de funcionamento do motor- mola tornam possível baixo nível de ruído operação.

Construção simples e um pequeno número de peças tornam fácil manutenção.

Figura 19 – Módulo do disjuntor a gás SF6 de 230 kV



Figura 20 – Disjuntor a gás SF6 de 230 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

Disjuntor a gás 138 kV

O Disjuntor isolado a gás HCSP-144A tem as seguintes características:

Excelente desempenho em interromper falha de corrente elétrica, pode alcançar curto-circuito de 40kA e tensão nominal de isolamento de 145kV.

Pequeno e leve: Possui a adoção do mecanismo de funcionamento de motor à mola e contribui com a redução do espaço de instalação.

Alta confiabilidade: Mecanismo de funcionamento de motor à mola construído em um bloco para minimizar a tubulação e tem alta confiabilidade.

Baixo nível de ruído: Menor força motriz impulsionada na câmara de interrupção de alto desempenho e adoção do mecanismo de funcionamento de motor à mola torna possível baixo nível de ruído na operação.

Fácil manutenção: Construção simples e um pequeno número de peças trazem uma fácil manutenção.

Figura 21 – Módulo do disjuntor a gás SF6 de 138 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 22 – Disjuntor a gás SF6 de 138 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

O disjuntor á gás é um sistema de alto desempenho, com um tanque estático de grande capacidade para o circuito de gás do disjuntor. Este disjuntor possui uma estabilidade de tensão de ruptura muito boa, devido à utilização do SF6 (hexafluoreto de enxofre), excelente dielétrico e de capacidade de extinção de arco.

O disjuntor do circuito de gás tem as seguintes características:

Excelente performance de interrupção em falha de corrente, podendo ser usado em curto-circuito de corrente nominal de 40 kA e tensão nominal de isolamento de 36 kV. O tamanho pequeno e peso leve contribui para a redução do espaço de instalação

Alta confiabilidade: Mecanismo de funcionamento do Motor-mola é bloco construído para minimizar a tubulação e tem alta confiabilidade.

Esforço motriz reduzida devido o alto desempenho da câmara de interrupção e dotado do mecanismo de funcionamento do motor- mola tornam possível baixo nível de ruído operação.

Construção simples e um pequeno número de peças tornam fácil manutenção.

Figura 23 – Disjuntor a gás SF6 de 33 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.7 Transformador de potência (Trafo – Power Transformer)

É um equipamento elétrico estático cuja função é reduzir ou aumentar os valores de tensão e corrente, mantendo a potência e a frequência elétrica constante. Transfere energia elétrica de um circuito para outro através da indução eletromagnética, transmitida da bobina de entrada (primário) para a bobina de saída (secundário).

O transformador de potência é o principal equipamento de uma subestação e todas as atenções estão voltadas para ele. É composto basicamente de núcleo e enrolamentos e suas principais partes construtivas são:

Tanque principal com Líquido isolante (óleo mineral, vegetal ou sintético);

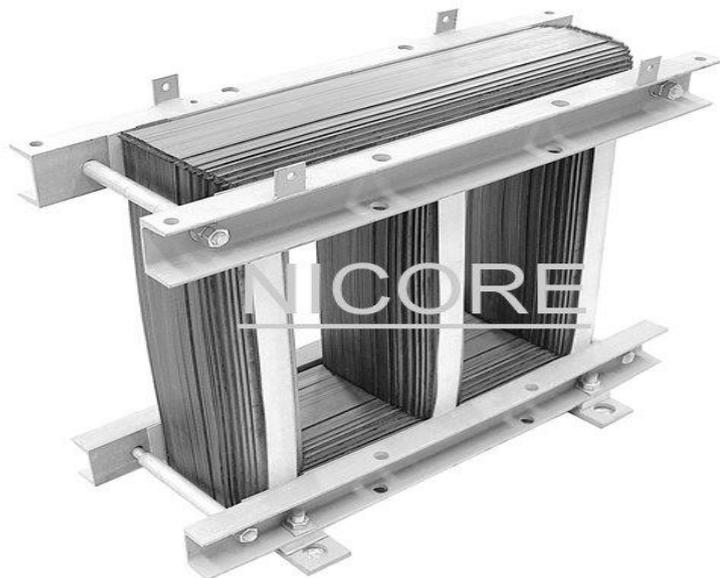
Figura 24 – Tanque principal com Líquido isolante



Fonte: Manual GIS SF6.

Núcleo;

Figura 25 – Núcleo



Fonte: Manual GIS SF6.

Enrolamentos;

Figura 26 – Enrolamentos



Fonte: Manual GIS SF6.

Tanque de expansão;

Figura 27 – Tanque de expansão



Fonte: Manual GIS SF6.

Indicador magnético de nível de óleo;

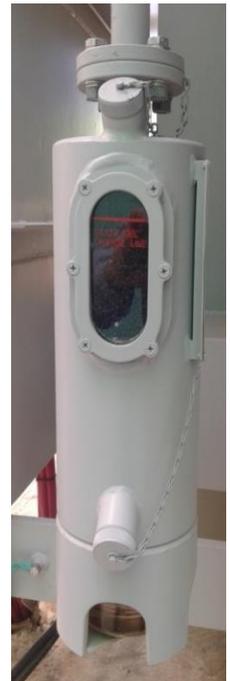
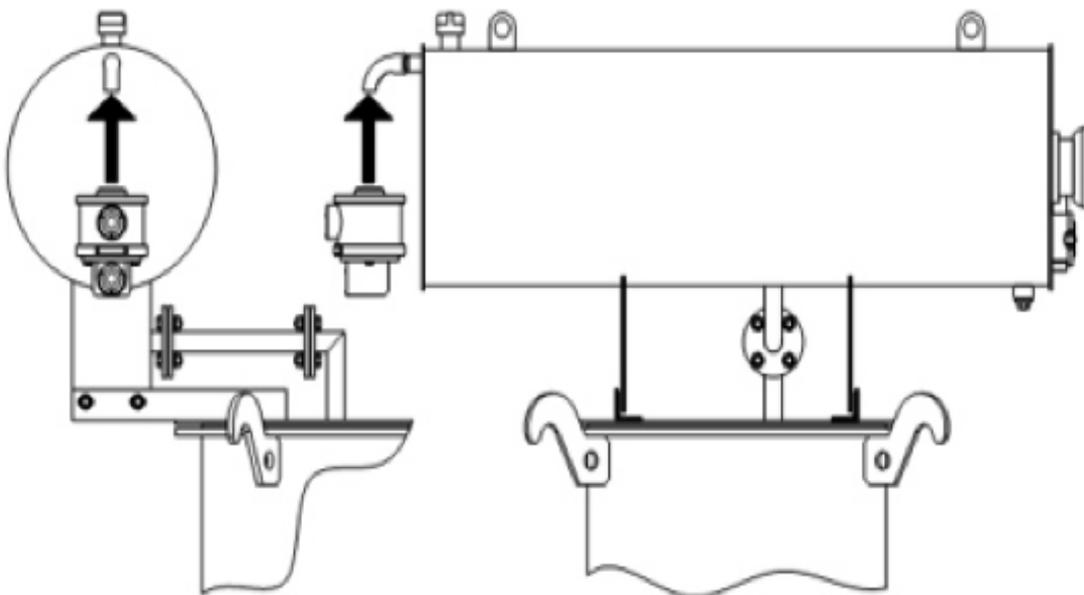
Figura 28 – Indicador magnético de nível de óleo



Fonte: Manual GIS SF6.

Desumificador de ar;

Figura 29 – Desumificador de ar



Fonte: Manual GIS SF6.

Termômetro de temperatura do óleo;

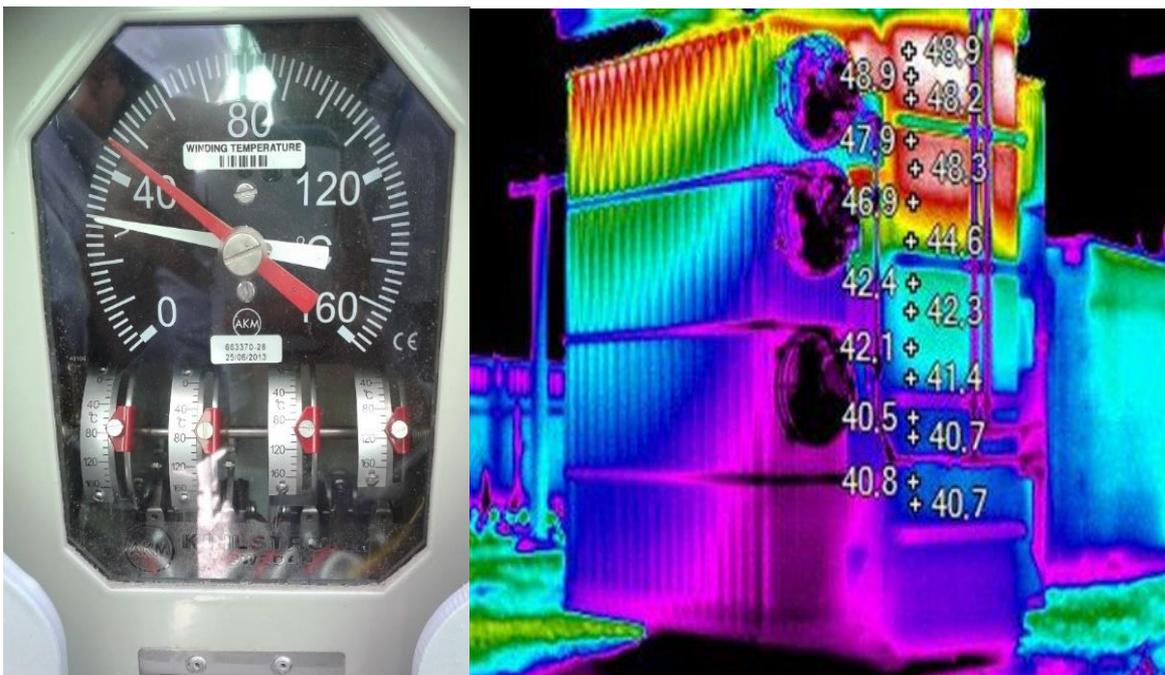
Figura 30 – Termômetro de temperatura do óleo



Fonte: Manual GIS SF6.

Termômetro de temperatura do enrolamento;

Figura 31 – Termômetro de temperatura do enrolamento



Fonte: Manual GIS SF6.

Dispositivo de alívio de pressão (pressão rápida);

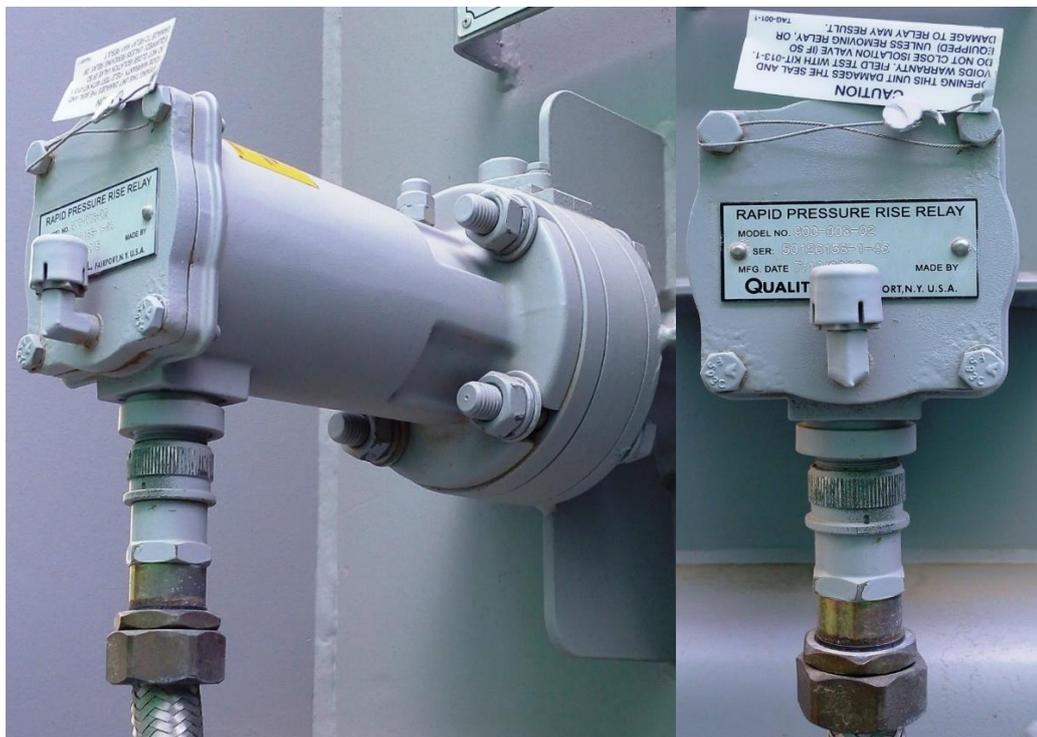
Figura 32 – Dispositivo de alívio de pressão (pressão rápida)



Fonte: Manual GIS SF6.

Relé de pressão súbita;

Figura 33 – Relé de pressão súbita



Fonte: Manual GIS SF6.

Dispositivo de alívio de pressão do comutador de derivações;

Figura 34 – Dispositivo de alívio de pressão do comutador de (TAP) derivações



Fonte: Manual GIS SF6.

Comutador de TAP (Derivações) automático (Com carga);

Figura 35 - Comutador de TAP (Derivações) automático (Com carga)



Fonte: Manual GIS SF6.

Comutador de TAP (Derivações) manual (Sem carga);

Figura 36 - Comutador de TAP (Derivações) manual (Sem carga)



Fonte: Manual GIS SF6.

Relé de gás tipo Buchholz;

Figura 37 – Relé de gás tipo Buchholz



Fonte: Manual GIS SF6.

Dispositivo coletor de gás;

Figura 38 – Dispositivo coletor de gás



Fonte: Manual GIS SF6.

Radiador tubular;

Figura 39 – Radiador tubular



Fonte: Manual GIS SF6.

Ventilação forçada;

Figura 40 – Ventilação forçada



Fonte: Manual GIS SF6.

Contador de surtos.

Figura 41 – Contador de surtos



Fonte: Manual GIS SF6.

Transformador de 230 kV

Figura 42 - Transformador de 230 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.8 Resistor de aterramento (NGR – Neutro Ground Resistor)

Os resistores de aterramento são utilizados em sistemas elétricos com a finalidade de limitar a corrente de falta fase-terra a um valor que não danifique os equipamentos, que não venha a causar acidentes pessoais e ainda permitam que o fluxo de corrente existente seja capaz de fazer atuar os relés de proteção, desligando o sistema, limpando a falta, assim, evitando danos maiores ou catastróficos.

Figura 43 – Resistor de aterramento (NGR – Neutro Ground Resistor)



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.9 Barramentos (Bus Bar)

Existem alguns fatores que devem ser considerados para o projeto de uma subestação e um deles é a disposição do barramento e dispositivos de comutação. É necessário que eles tenham uma flexibilidade tanto na operação, quanto na manutenção, para que mesmo com a ocorrência de um defeito se possa garantir uma continuidade no fornecimento de energia elétrica.

Os principais barramentos e suas características são:

Tabela 3 – Tipos de barramentos e suas características

Arranjo	Confiabilidade	Custo	Área Utilizada
Barra Simples	Menor Confiabilidade. Falhas simples podem ocasionar o desligamento da SE.	Menor custo, devido a menor número de componentes	Menor área
Barra Principal e Transferência	Baixa confiabilidade semelhante a barra simples. Melhor flexibilidade na operação e manutenção.	Custo moderado. Poucos componentes	Área pequena para a sua instalação.
Barra Dupla um Disjuntor	Confiabilidade moderada	Custo moderado. Número de componentes um pouco maior.	Área moderada.
Barra Dupla Disjuntor Duplo.	Confiabilidade Moderada.	Custo elevado	Grande Área. Dobro do número de componentes
Barra Dupla, Disjuntor e Meio	Alta confiabilidade. Falhas simples isolam apenas o circuito.	Custo moderado. Número de componentes um pouco maior.	Grande área. Maior número de componentes por circuito.
Barramento em anel	Alta confiabilidade.	Custo moderado.	Área moderada.

Fonte: Manual GIS SF6.

Barramento Blindado a gás SF6 (GIS – Gas Insulated switchgear)

Por mais de 25 anos, o gás SF6 tem sido utilizado para aplicações em média e alta tensões de subestações elétricas. A resistência elétrica do SF6 é consideravelmente maior que a do ar. O gás SF6 é quimicamente neutro, não-tóxico e não-inflamável. Devido a estas

características e a crescente demanda por sistemas de média, alta tensão totalmente enclausurados.

Vantagens:

- Protegido contra choques elétricos.
- Custo reduzido com aplicação de buchas de partição.
- Os cubículos podem ser entregues completos, com gás e com a parte de partição de buchas já montados.
- Proteção adicional contra fogo não se faz necessária.
- Sistema de fixação simplificado.
- Qualquer conexão com SF6, óleo ou ar, com equipamentos instalados abrigados ou ao tempo, são possíveis.
- Muito próximo de ser livre de manutenção; longos intervalos entre serviço.
- Reciclagem do gás enquanto desmontado.
- Design modular.
- Prazo de entrega reduzido devido a padronização das seções e demais partes.
- Sem efeito de envelhecimento nos materiais isolantes.
- Sem deterioração, tempo de reparo extremamente curto em caso de falhas.
- Disponível para operação sob extremas condições de serviço.
- Os testes de isolação do SF6 podem ser realizados sem interrupção de operação.
- Dimensões reduzidas, baixo peso.
- Montagem e comissionamento fácil e rápido devido a fabricação de elementos padronizados e testados em fábrica.
- Sem dificuldades para ampliações do sistema.

Características específicas:

- A construção de elementos modulares oferece soluções individuais para qualquer sistema de conexão de equipamentos.
- O sistema de barramentos em gás isolado consiste em condutores de cobre ou

alumínio interconectados por plugues testados e pré-montado.

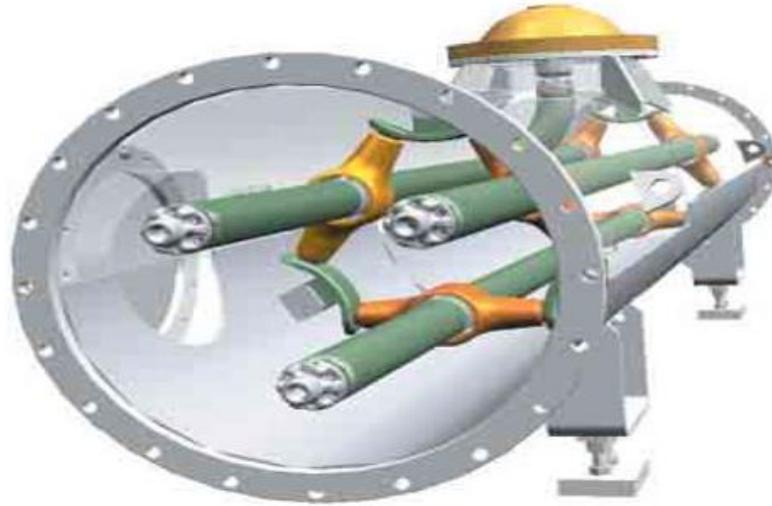
- Disponível com distâncias mínimas entre fases para adequação a quaisquer cubículos compacto em SF6.

- A excelente vedação é garantida por O-rings especiais a prova de SF6 que são inseridos em sulcos desenhados especialmente para fuga de gás. Buchas isoladas de alta qualidade são utilizadas para conexão com transformadores isolados em ar/óleo, bobinas, capacitores e outros aparatos.

- Montagem simples e facilitada por elementos padronizados; não requer ferramentas especiais.

Figura 44 – Parte interna de um barramento isolado a gás SF6





Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 45 – Barramento isolado a gás SF6 (GIS)



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.10 Bucha elétrica (*Electric bushing*)

Dispositivo de isolamento para conexão elétrica entre dois meios diferentes.

Figura 46 – Bucha Ar / Gás de 230 kV



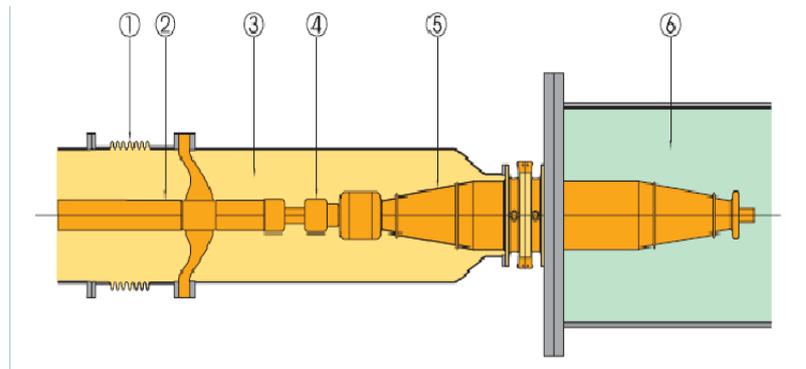
Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 47 – Bucha Óleo / Ar de 33 kV e 6.6 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 48 – Bucha Gás / Óleo de 230 kV



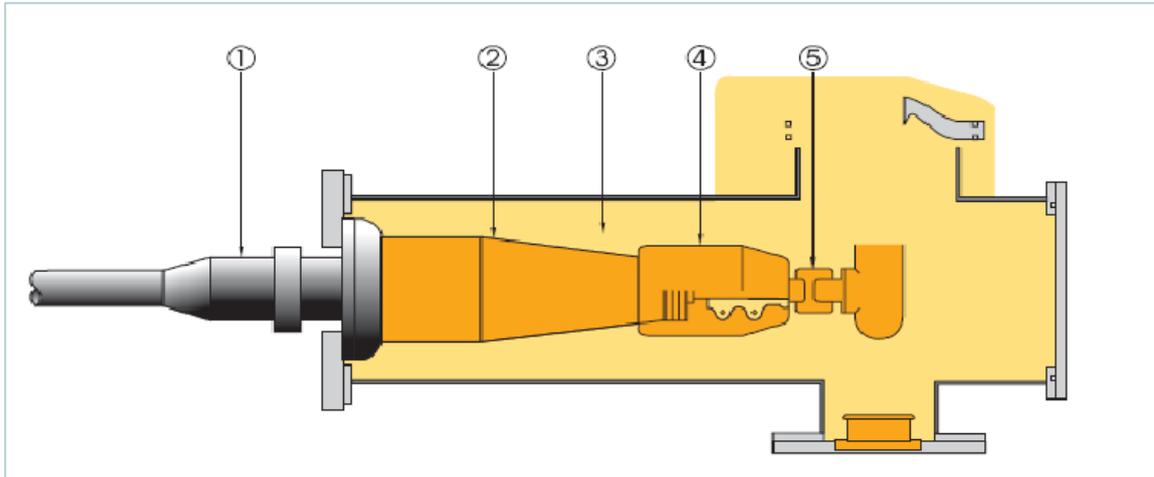
Gas-to-Oil Bushing

- ① Bellows ② Conductor ③ SF₆ Gas ④ Tulip Contact
 ⑤ Transformer Bushing ⑥ Transformer Oil

Fonte: Manual GIS SF₆.

Figura 49 – Bucha Cabo / Cone





Cable Sealing End ① Cable ② Epoxy Cone
 ③ SF₆ Gas ④ Shield ⑤ Tulip Contact

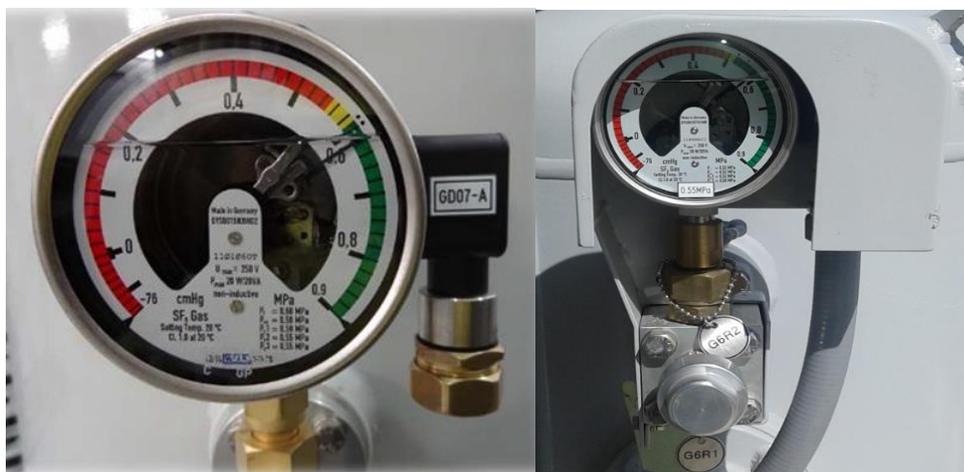
Fonte: Manual GIS SF₆.

3.3.11 Densímetro

Uma vez que o gás SF₆ é selado em recipientes, a pressão do gás SF₆ varia juntamente com a temperatura circundante. Assim, a pressão irá variar conforme a temperatura, mesmo que não haja mudança da quantidade de gás.

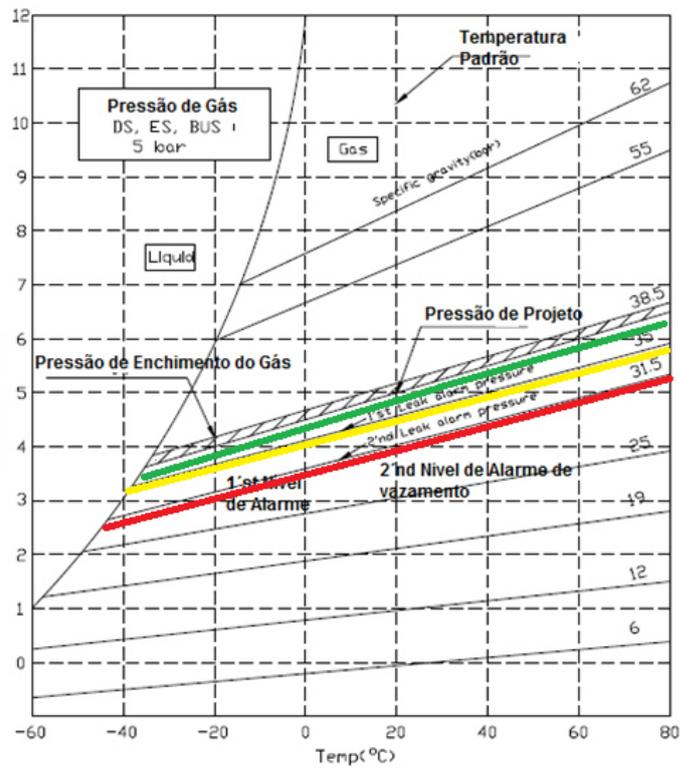
O indicador geral não pode indicar se é mantida a densidade do gás exata. Deste modo, um interruptor de pressão especial, o chamado **detector de densidade**, o qual tem a função de compensação de temperatura, de modo que a pressão compensada a uma certa temperatura normal (20 °C) pode ser verificada, como o mesmo resultado de densidade do gás.

Figura 50 – Densímetro



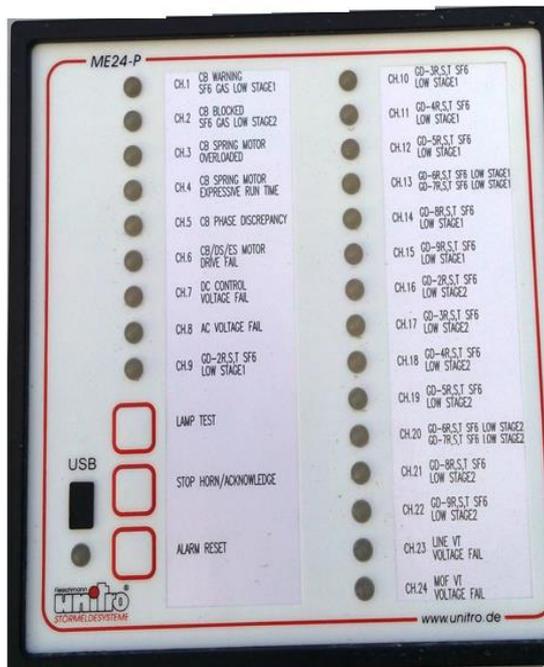
Fonte: Manual GIS SF6.

Gráfico 2 – Relação pressão x temperatura do densímetro



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 51 – Anunciador de alarmes de detecção de gás



Fonte: Manual GIS SF6.

CH1 CB WARNING SF6 LOW STAGE 1: 1º Estágio indicando GÁS SF6 baixo. Nesse estágio temos apenas Alarme.

CH2 CB BLOCKED SF6 LOW STAGE 2: 2º Estágio indicando GÁS SF6 baixo. Nesse estágio temos o TRIP do CB deixando o mesmo **Aberto e Bloqueado** p/ a Operação até o problema ser resolvido

3.3.12 Detector de tensão (VD – Voltage Detector)

Tem a finalidade de detectar picos de tensão a fim de proteger o circuito a que está destinado. O detector de tensão está atrelado diretamente a proteção 27 no relé de proteção, ele realiza medições de tensão e em caso de sobretensão ou subtensão ele enviará sinais para o relé atuar, evitando, assim, danos no sistema.

Figura 52 – Detector de tensão



Sobretensão e subtensão de Detecção

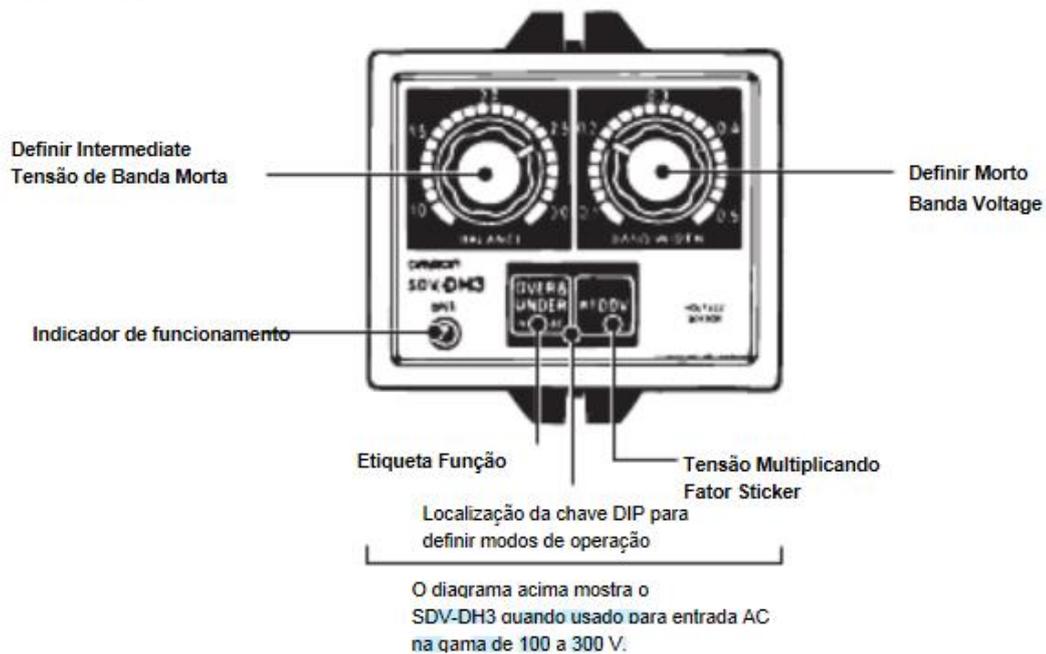
Controle de tensão de alimentação	Entrada: DC ou AC (selecionável)	
	Margem de entrada	
	0,2-12 V	10 a 300 V
12 VDC	SDV-DM1	SDV-DH1
24 VDC	SDV-DM2	SDV-DH2
48 VDC	SDV-DM3	SDV-DH3
100/110 VDC	SDV-DM4	SDV-DH4
125 VDC	SDV-DM5	SDV-DH5
100/110 VAC	SDV-DM6	SDV-DH6
200/220 VAC	SDV-DM7	SDV-DH7
240 VAC	SDV-DM71	SDV-DH71

Nota: 1. Informe-se sobre a produção de modelos com 120- e 240-VAC fonte de alimentação de controle.

2. Informe-se sobre os modelos com um processamento especial para alta temperatura, aplicações de alta umidade.

3. O fator de ondulação deve ser de 5% ou menos para fontes de alimentação de corrente contínua.

SDV-D @



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.13 Anunciador de alarmes

O anunciador de alarmes trata-se do painel referente ao sistema elétrico ou equipamento que vai indicar todas as possíveis falhas estudadas e previstas de acontecer. Nele é possível ter uma noção do tipo de problema que aconteceu, se foi uma falha gerada pelo sistema ou pelo equipamento conforme ele se manifestar no anunciador.

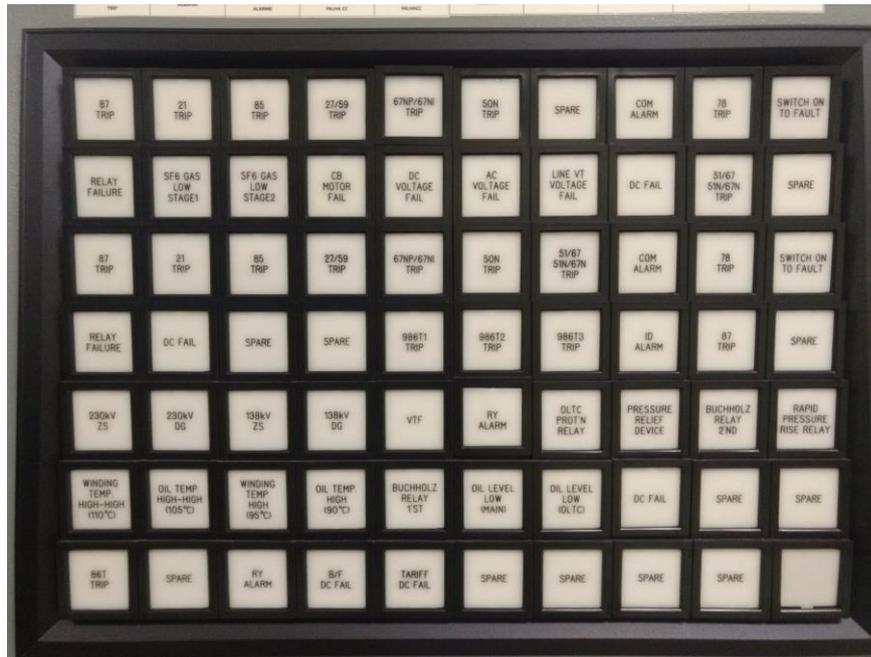
Em alguns, anunciadores além da possibilidade de sinalização de falhas, é possível também a visualização de status dos equipamentos, medições básicas como tensão, corrente, potência ativa, reativa e consumo através de um medidor multigrandeza.

Figura 53 – Painel geral anunciador de alarmes da subestação tipo 1



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 54 – Anunciador de alarmes do transformador de 230 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 55 – Anunciador de alarmes do comutador de TAP de 138 kV



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.14 Sistema de detecção de arco

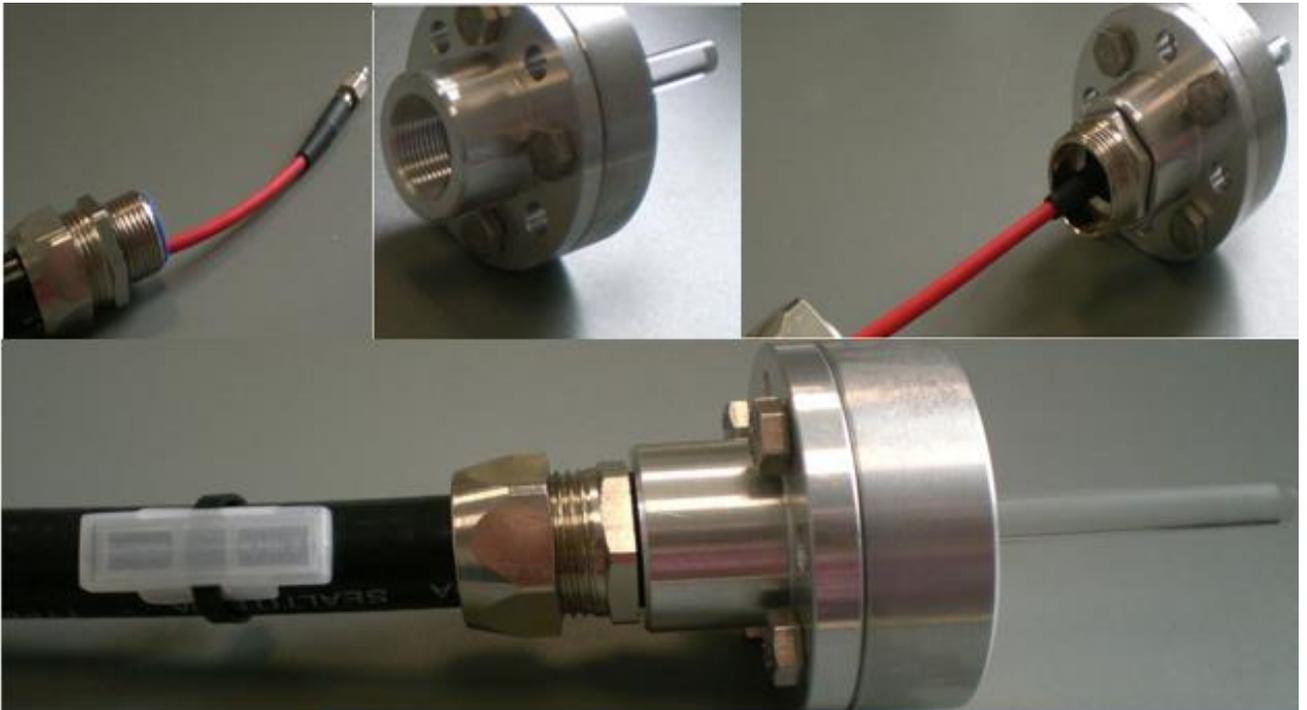
Faz parte de uma das proteções intrínsecas do módulo GIS em que consiste em sensores de luz que registam os fenômenos óticos que ocorrem dentro de um sistema de manobra e transmitem através das fibras ópticas ligado à painéis eletrônicos em que eventualmente, são avaliados e processados.

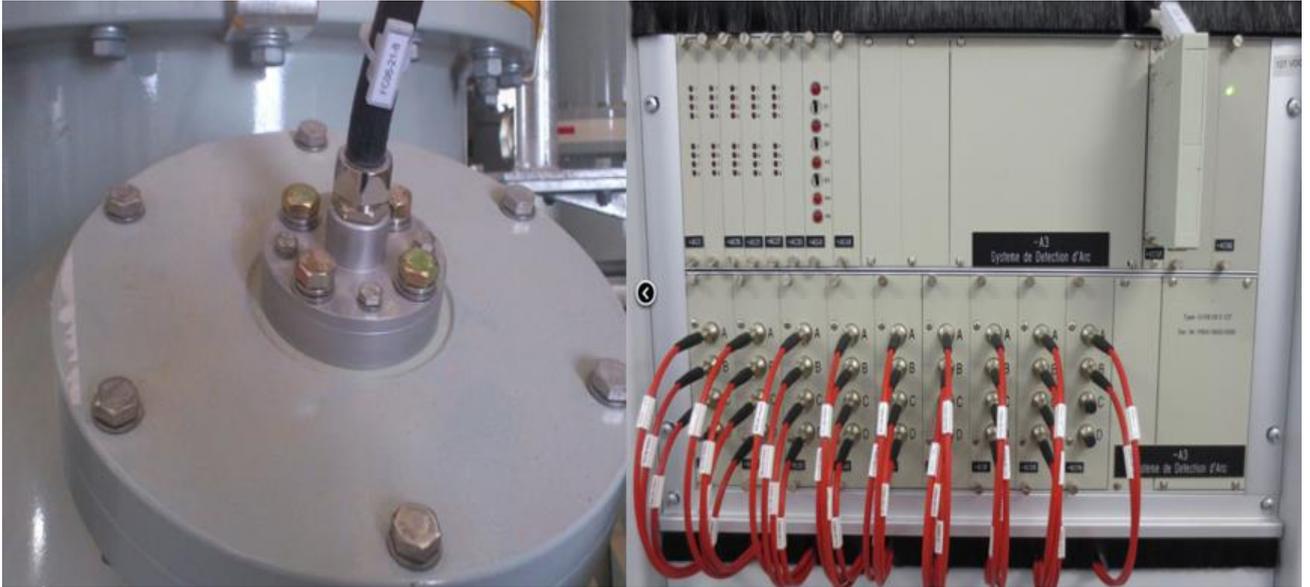
Figura 56 – Detectores de arco elétrico no sistema GIS



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 57 – Sensor e controle do sistema de detecção de arco elétrico





Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.15 Disco de ruptura

Os discos de ruptura fazem parte de uma das proteções intrínsecas dos módulos instalados de uma subestação isolada a gás SF6, eles tem como principal objetivo proteger o módulo GIS em casos de curto-circuito, em que o mesmo rompe-se liberando um fluxo de ar alternativo para, assim, evitar a explosão de todo o módulo devido a pressão gerada internamente do módulo no devido momento de um curto-circuito gerado.

Figura 58 – Disco de ruptura



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.16 Retificador

Equipamento que converte a tensão e a corrente alternada para tensão e corrente contínua, com a finalidade de atender todas as cargas críticas da subestação. O retificador é também responsável por manter as baterias estacionárias em plena carga. A tensão de saída tem o valor de 132Vcc, mas, o valor é reduzido para 125Vcc através de uma unidade de queda.

Cargas atendidas pelo retificador:

- Circuito de comando, controle, proteção;
- Sinalização de transformadores de potência, disjuntores, religadores, reguladores de tensão, entre outros equipamentos da subestação;
- Motores de recarga de mola de fechamento dos disjuntores e religadores;
- Painéis elétricos ou quadros anunciadores;
- Banco de baterias em regime de carga ou flutuação;
- IHM;
- UTR.

Figura 59 – Retificador



3.3.17 Banco de baterias e Carregador

Fonte de alimentação independente composta por um conjunto de baterias estacionárias ou automotivas, ligadas em série, que operando em paralelo com retificador, supre os circuitos em 125Vcc dos equipamentos instalados na subestação. As cargas atendidas pelo banco de baterias são as mesmas supridas pelo retificador, também atendem iluminação da casa de comando e pátios dos barramentos da subestação. Tem como principais características por ser constituído de grupo com dez bateiras automotivas com tensão de 12Vcc cada uma, ou sessenta baterias estacionarias de 2,2Vcc cada elemento. Em condições normais, opera em regime de flutuação em paralelo com o retificador.

Baterias de Níquel com Cádmio com solução de hidróxido de potássio puro, misturado com hidróxido de Lítio em pó dissolvido por troca iônica com água purificada ou destilada, são um total de 192 Células de 1,2 v = 230 v

Figura 60 – Banco de baterias



Fonte: Manual GIS SF6.

O carregador de baterias é destinado a manter o banco de baterias sempre carregado para que em caso de uma eventual falta de energia elétrica da rede ela possa suprir toda a carga essencial da subestação até o retorno da energia da rede.

Figura 61 – Painel anunciador de alarmes e de medição do banco de baterias



Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.18 Fonte de Alimentação Ininterrupta (UPS – Uninterruptible Power Supply)

As UPS's (Uninterruptible Power Supply) que em português significa **Fonte de Alimentação Ininterrupta** é também conhecida como o “No Break”, com função semelhante ao que usamos em casa para um computador. As UPS's são sistemas destinados à alimentação de dispositivos elétricos e suprir toda a energia elétrica necessária quando existir um corte de energia elétrica fornecida pela rede. As UPS's diferenciam-se dos restantes sistemas de emergência na medida em que possibilitam a alimentação instantânea quando ocorre um corte de energia através do banco de baterias e circuitos eletrônicos associados para sistemas de baixa potência ou geradores à diesel em sistemas de grande potência.

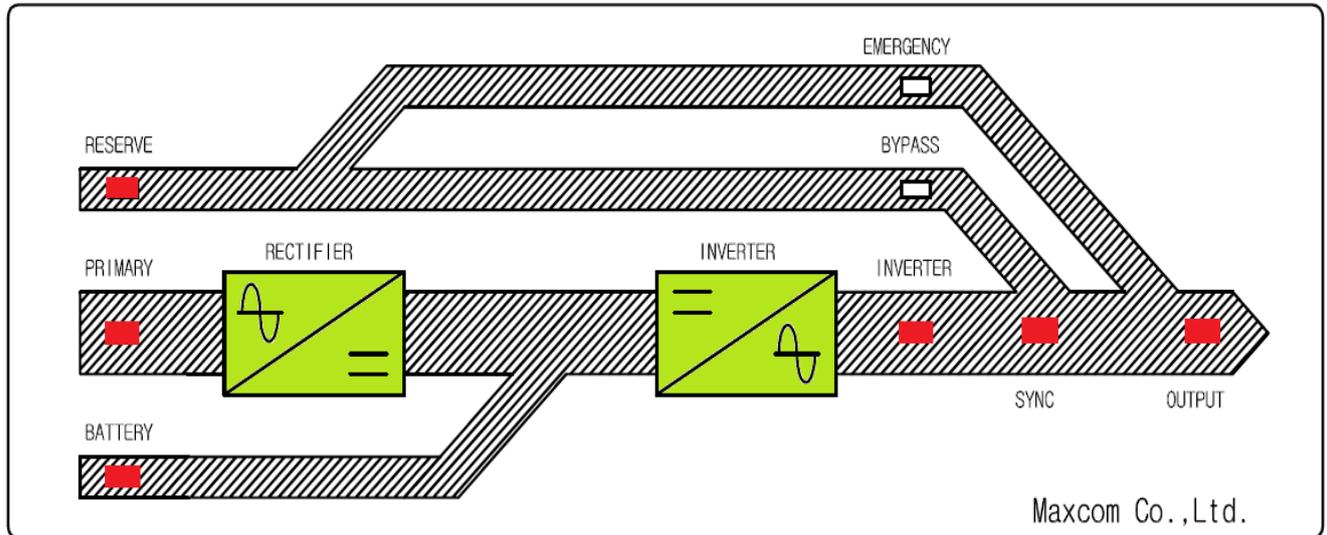
Existem dois tipos de fontes de alimentação ininterruptas: o on-line e o off-line. No sistema on-line, ocorre a dupla conversão de energia. No primeiro estágio, é feita a conversão da tensão da corrente alternada (C.A) em tensão de corrente contínua (C.C), e no segundo estágio o inversor converte a tensão C.C em C.A para a saída. Desta forma, a carga final possui amplitude, forma e frequência totalmente diferentes da entrada.

Já no tipo off-line (Line Interactive), o inversor fica ligado constantemente. No caso de queda de tensão, o circuito de monitoramento usa a energia do inversor para manter o fornecimento, garantindo uma alimentação estável.

Tem quatro opções de alimentação da carga, sendo:

1 - **Linha normal** (utilizado em operação normal carregando as baterias e alimentando as cargas);

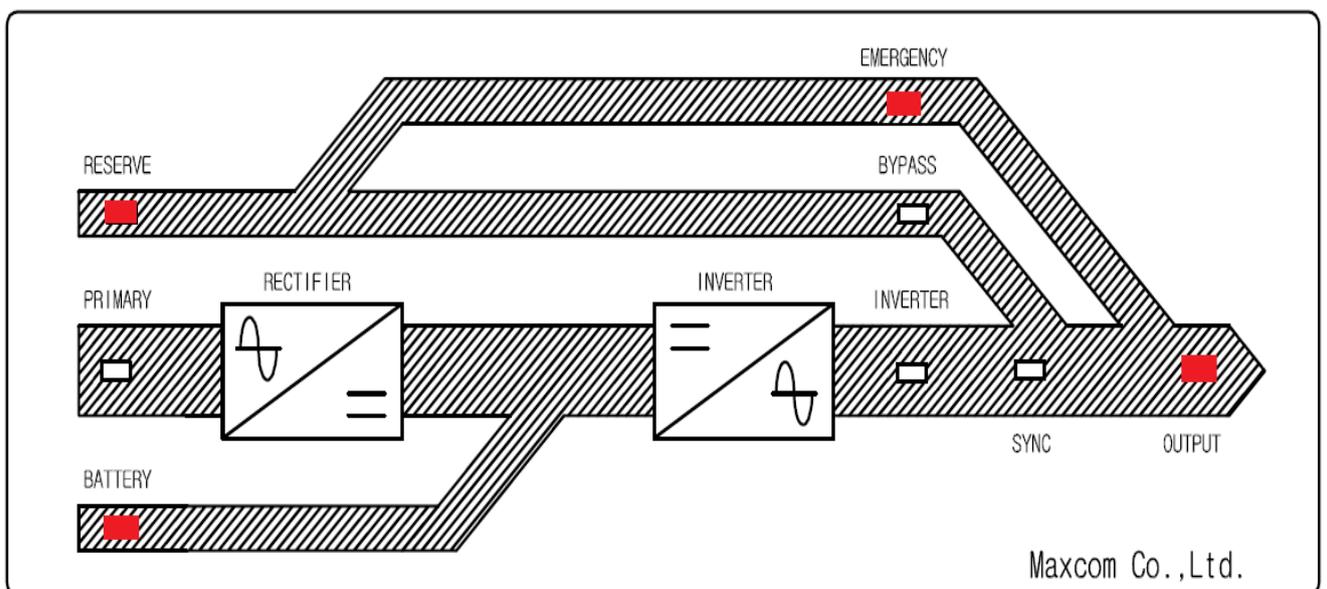
Figura 62 – Fonte de alimentação normal da UPS



Fonte: Manual GIS SF6.

2 - **Linha de emergência** (utilizado em caso de manutenção da chave estática ou perda da UPS);

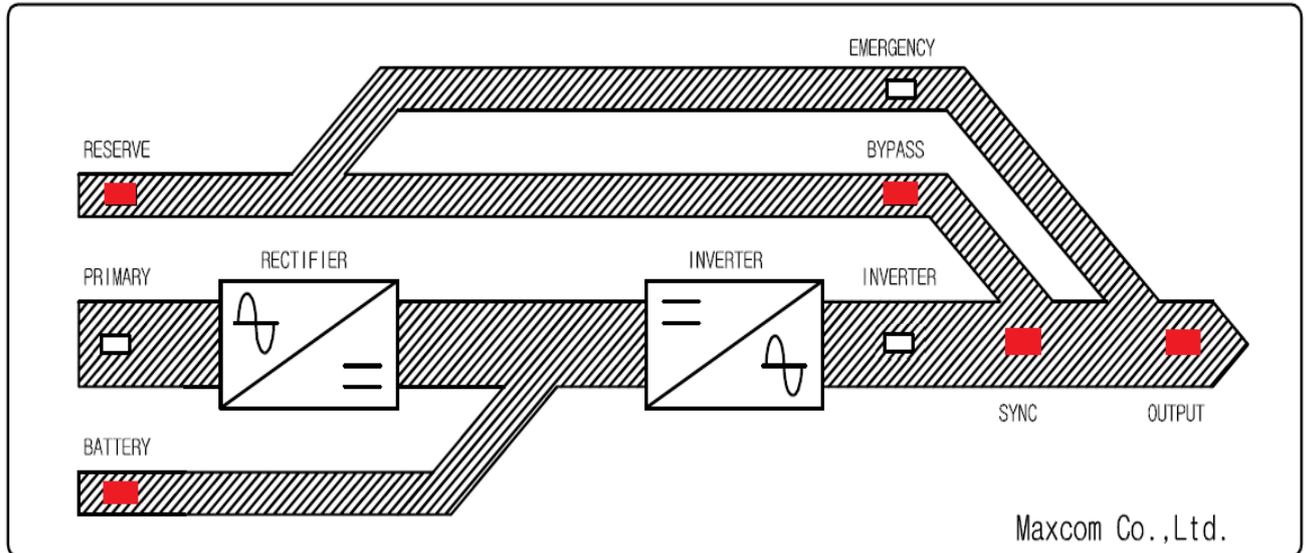
Figura 63 – Fonte de alimentação de emergência da UPS



Fonte: Manual GIS SF6.

- 3 - **Linha de by-pass** (utilizado em caso de perda ou manutenção da UPS. ex.: falhas no Retificador ou Inversor e na entrada de operação da UPS);

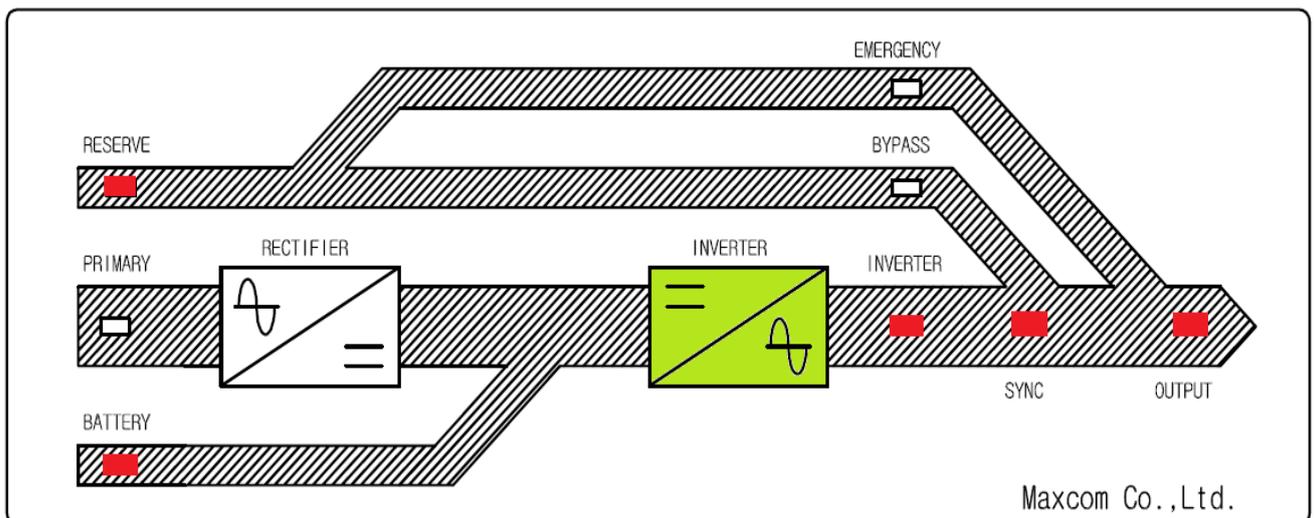
Figura 64 – Fonte de alimentação de by-pass da UPS



Fonte: Manual GIS SF6.

- 4 - **Baterias** (utilizado na falta de alimentação de rede ou alimentação principal).

Figura 65 – Fonte de alimentação da bateria da UPS



Fonte: Manual GIS SF6.

Tempo de carregamento das baterias é de 4 a 6 Horas.

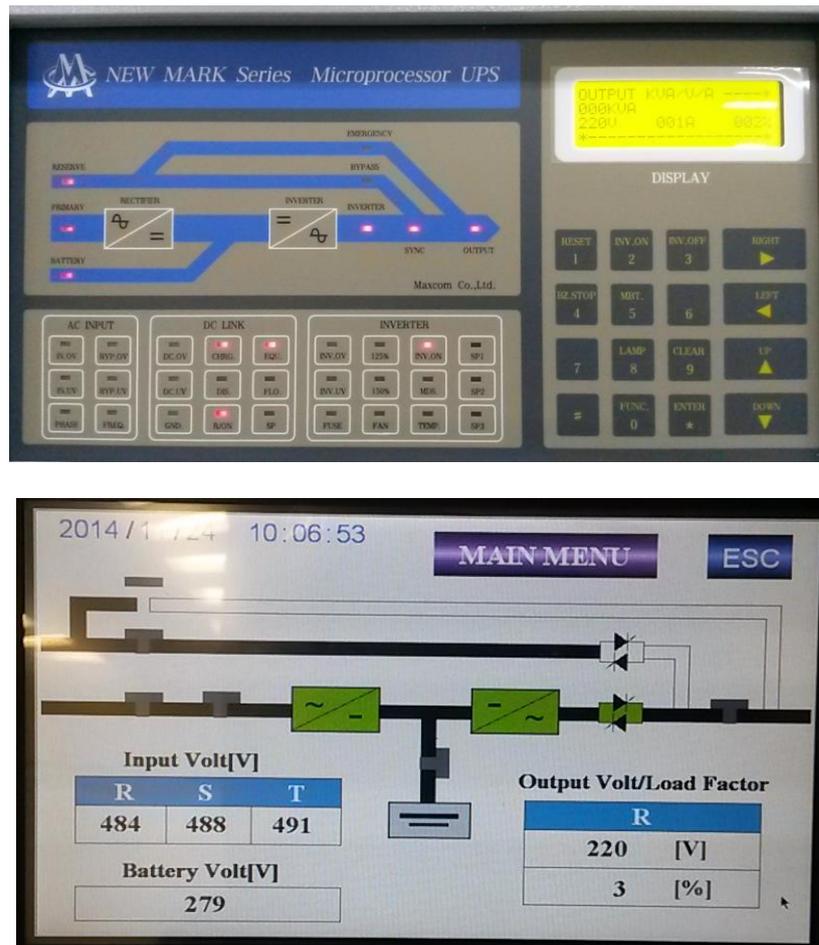
As Baterias precisam de 3 minutos para atingir a carga plena do sistema.

O Sistema de baterias tem autonomia de 30min à plena carga, mas para garantir

uma margem operacional mais durável determina-se um conjunto de cargas essenciais do sistema, utilizando, assim, em torno de 10 a 20% da capacidade de fornecimento das baterias, logo as baterias vão poder durar em torno de 6 horas.

Montagem simples e facilitada por elementos padronizados; não requer ferramentas especiais.

Figura 66 – Painel anunciador de alarmes e de medição da UPS



Fonte: Manual GIS SF6.

As UPS são normalmente utilizadas para proteger equipamentos que possam conter dados essenciais ou indispensáveis para o funcionamento de um edifício com data centers, computadores, equipamentos de telecomunicações ou outros equipamentos cuja interrupção de funcionamento possa causar danos irreversíveis em sistemas, banco de dados ou negócios (ex. Bolsa de valores).

Para além da capacidade de fornecer energia em caso de interrupção por um período limitado, as UPS podem corrigir outros eventos de rede como sobretensões,

subtensões, variações de tensão, ruído, instabilidade de frequência ou distorções harmônicas.

3.3.19 Regulador de Tensão Automático (AVR – Automatic Voltage Regulator)

Equipamentos ou dispositivos responsáveis pelo controle de tensão nos barramentos de carga das subestações, buscando garantir assim distribuição de energia elétrica de qualidade, sem oscilações ou variações bruscas nos níveis de tensão entregues, além de controlarem os impactos da energia reativa indutiva, função essa exercida pelo banco de capacitores.

Figura 67 – AVR: Regulador de tensão automático



Fonte: Manual GIS SF6.

Quando o AVR está em By-pass ele não realiza ajuste de tensão em automático somente será possível ajuste em manual no potenciômetro.

Entrada AC: 480 Vac Bifásico

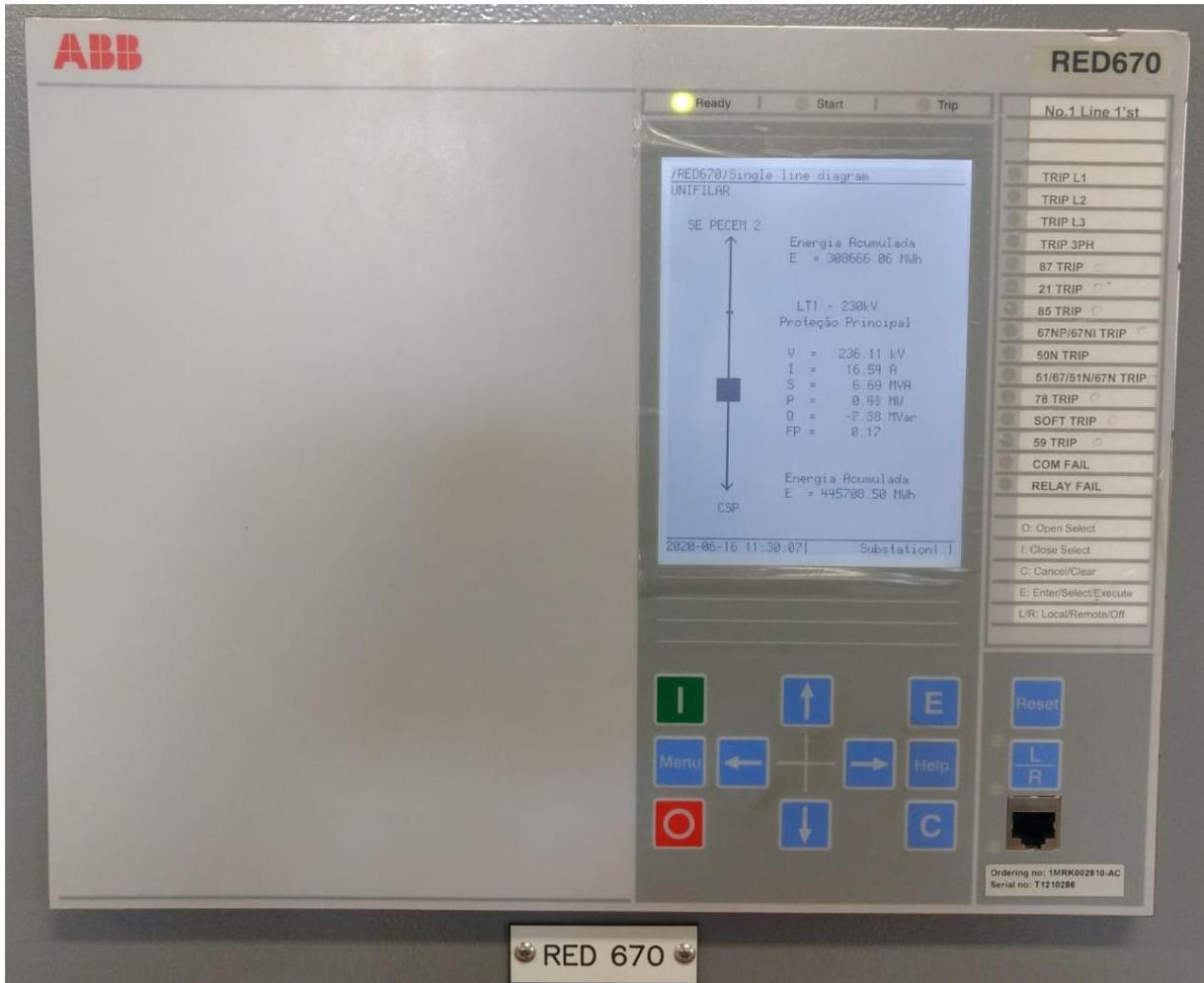
Saída AC: 220 Vac Bifásico

3.3.20 Relé de Proteção

Os relés de proteção destinados para os equipamentos de alta tensão têm como principal objetivo visualizar e supervisionar toda a subestação. Eles são parametrizados conforme estudos da equipe de controle e automação e conforme a coleta de dados reais realizada pelo relé ele poderá detectar uma falha no sistema. Em caso de detecção de falha em algum equipamento da subestação o relé poderá atuar executando uma manobra de interrupção do circuito elétrico, assim, com a finalidade de defender a integridade dos equipamentos da subestação.

Relé de proteção utilizados na instalação referência:

Figura 68 – Relé de proteção ABB RED 670



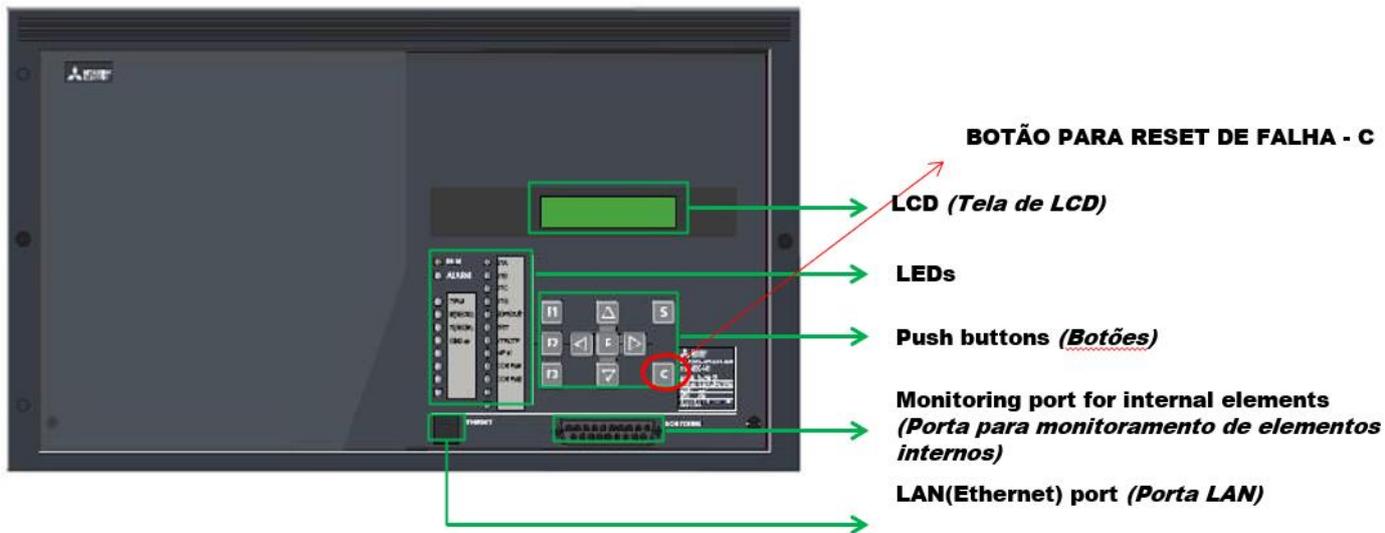
Fonte: Manual GIS SF6.

Mitsubishi MBP-H1SA (Relé diferencial de corrente para proteção de barramento):

- Proteção de corrente diferencial para barra dupla.
- Proteção geral (check zone) é fornecida como um sistema de guarda para cada zona de proteção com o intuito de bloquear uma operação indevida.
- Proteção geral (DIF-B): Analisa as falhas internas e externas de todo o barramento é fornecido para evitar a operação indesejada do relé de proteção da zona.
- Proteção de zona (DIF-B1 e DIF-B2): Detecta falha na respectiva zona do barramento.
- Proteção de falha de disjuntor (CBF): Detecta a falha do disjuntor e emite o sinal de trip de back-up para barramento ou informa a falha do CB.
- Possui operação rápida de 25ms.

- Supervisão de corrente diferencial para alarme e “*trip*”.
 - Detecção de falha nos contatos da seccionadora através da verificação da condição dos contatos auxiliares dela.
 - Detecção VTF (falha no TP) está disponível para alarme através da operação do elemento subtensão e detecção de carregamento.
 - Monitor de tensão e frequência através da entrada de tensão.
 - Monitoração em tempo real de grandezas medidas via TP’s e TC’s.
 - Interface com GPS.
 - “TAP’s” seleccionáveis para os sinais de entrada de corrente.
 - Possui comunicação tipo ethernet para com duas portas tipo fibra óptica possui suporte ao IEC61850 para comunicação remota.
 - Análise do relé no PC via serial frontal.
 - Função de auto verificação contínua (check de falha no software e hardware)
 - Proteção de falha de disjuntor é fornecida. A falha do “CB” pode ser detectada pelos TC’s juntamente a lógica do relé.
 - Monitora em tempo real a corrente diferencial.
- Mitsubishi MCD-HA (Relé de corrente diferencial para proteção de linhas):
- Elementos de distância medindo fase-fase e fase-terra para cada zona.
 - Elemento de guarda de sobrecorrente independente para cada zona (fase e terra)
 - Bloqueio de oscilação de energia por medição de zona para bloqueio da operação de distância.
 - Detecção VTF para bloqueio de operação de distância.
 - Elementos de sobrecorrente trifásica e elemento de sobrecorrente de falta à terra.
 - Elementos de sobretensão fase-fase e fase-terra.
 - Elementos de detecção de queda de tensão de fase-terra.
 - Monitor de tempo real de entrada de corrente e corrente diferencial.
 - Possui comunicação tipo ethernet para com duas portas tipo fibra óptica possui suporte ao IEC61850 para comunicação remota.
 - Análise do relé no PC via serial frontal.
 - Interface com GPS.
 - Função de auto verificação contínua (check de falha no software e hardware)

Figura 69 – Relé de proteção Mitsubishi



Fonte: Manual GIS SF6.

Mitsubishi MDT-H1SA (Relé de distância para proteção do transformador):

- Este relé é adequado para a aplicação de back-up de proteção do transformador e é fornecido com elemento de distância fase-fase e elemento direcional de falha à terra, com a proteção temporizada.

- Medição nos elementos de distância fase-fase para falhas nas fases.

- Trip trifásico.

- Bloqueio dos elementos no caso de VTF.

Mitsubishi MFR-H1SA (Relé de sobrecorrente para CBF):

- Proteção do CB para sobrecorrente trifásica, sobrecorrente de falha à terra e temporizador do CB, depois de receber sinal de trip externo dos outros relés.

- Elemento de sobrecorrente trifásica e falha à terra.

- Medição da corrente trifásica e falha à terra em tempo real.

- O MFR-H1SA contém 3 elementos de sobrecorrente trifásica, circuitos DI conectado ao sinal de trip do relé externo e 2 delay timers para tripping do BF.

Mitsubishi MFP-H1SA (Relé de sobrecorrente para proteção dos alimentadores):

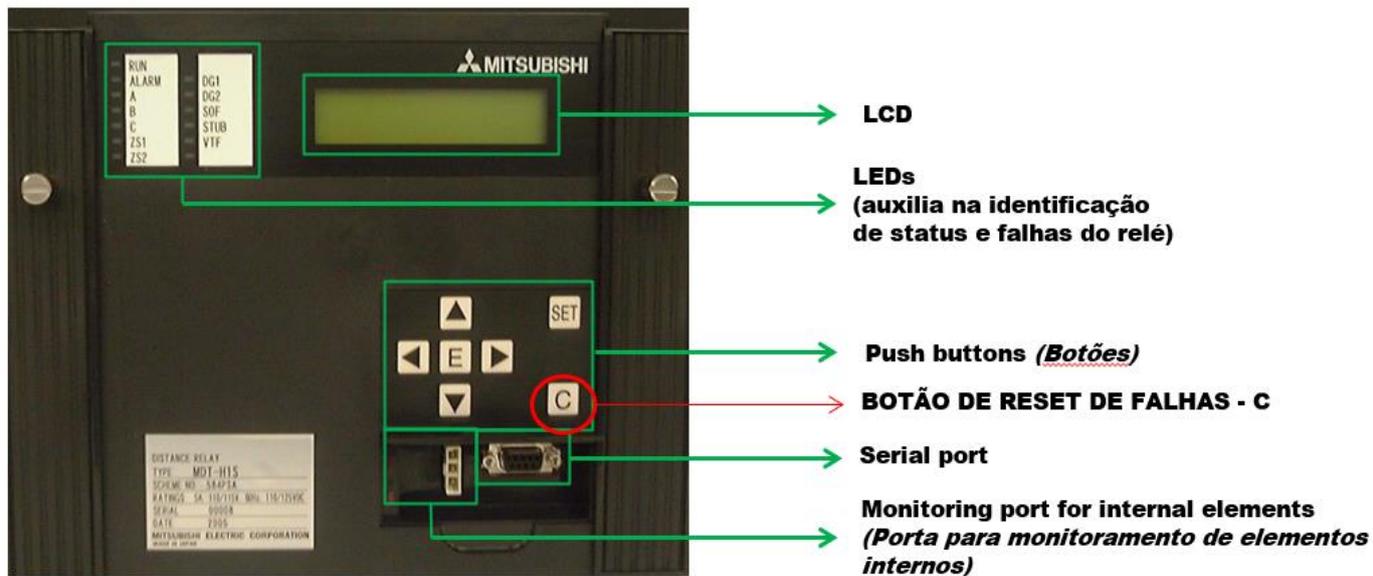
- Relé de sobrecorrente direcional trifásica e elementos de falha direcional à terra.

- Elemento de sobrecorrente trifásica e falta à terra.

- Elemento de guarda de subtensão para evitar desnecessária operação com a corrente de “inrush” do transformador.

- Detecção desbalanceamento de corrente de fase com elemento de sobrecorrente de sequência de fase negativa.
- Contador de operação do CB de falha de fase/terra.
- Fornecida função de supervisão de circuito e bobina de Trip.
- Medição da corrente de falha de terra e trifásica, tensão trifásica, VA, VAR, W e FP.

Figura 70 - Relé de proteção Mitsubishi MBP/MCD



Fonte: Manual GIS SF6.

As funções das proteções são padronizadas pela norma ANSI e são estabelecidas conforme numeração mostrada na tabela a seguir:

Tabela 4 – Codificação ANSI / IEC 61850 de atuação de proteção

TABELA ANSI / IEC		
ANSI	IEC	Denominação
1		Elemento Principal
2		Função de partida ou fechamento temporizado
3		Função de verificação ou interbloqueio
4		Contator principal
5		Dispositivo de interrupção
6		Disjuntor de partida
7		Disjuntor de anodo
8		Dispositivo de desconexão da energia de controle
9		Dispositivo de reversão
10		Chave de sequência das unidades
11		Reservada para futura aplicação

12		Dispositivo de sobrevelocidade
13		Dispositivo de rotação síncrona
14		Dispositivo de subvelocidade
15		Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16		Reservado para futura aplicação
17		Chave de derivação ou descarga
18		Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19		Contator de transição partida-marcha
20		Válvula operada eletricamente
21	PDIS	Relé de distância
22		Disjuntor equalizador
23		Dispositivo de controle de temperatura
24		Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25		Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26		Dispositivo térmico do equipamento
27		Relé de subtensão
27-0		Relé de subtensão na alimentação auxiliar
28		Reservado para futura aplicação
29		Contator de isolamento
30		Relé anunciador de alarme
31		Dispositivo de excitação
32		Relé direcional de potência
33		Chave de posicionamento
34		Chave de sequência operada por motor
35		Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36		Dispositivo de polaridade
37		Proteção de motor: relé de subcorrente ou subpotência
38		Dispositivo de proteção de mancal
39		Reservado para futura aplicação
40		Relé de perda de excitação
41		Disjuntor ou chave de campo
42		Disjuntor/ chave de operação normal
43		Dispositivo de transferência manual
44		Relé de sequência de partida
45		Reservado para futura aplicação
46		Relé de proteção de sequência negativa
47		Relé de sequência de fase de tensão
48		Relé de sequência incompleta de partida
49	PTR	Relé de proteção térmica
50		Relé de sobrecorrente instantâneo
50N		Relé de sobrecorrente instantâneo de neutro
50BF	CBF	Relé de proteção de falha de disjuntor
51	PTOC	Relé de sobrecorrente temporizado
51N	PTOC	Relé de sobrecorrente temporizado de neutro

51GS		Relé de sobrecorrente temporizado de sensor de terra (GS)
52		Disjuntor de corrente alternada
53		Relé para excitatriz ou gerador CC
54		Disjuntor para corrente contínua, alta velocidade
55		Relé de fator de potência
56		Relé de aplicação de campo
57		Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58		Relé de falha de retificação
59	PTOV	Relé de sobretensão
59N	PTOV	Relé de tensão de terra
60		Relé de balanço de tensão / queima de fusíveis
61		Relé de balanço de corrente
62		Relé de interrupção ou abertura temporizada
63		Relé de pressão ou nível de fluxo líquido ou gás (Buchholz)
64		Relé de proteção de terra
65		Regulador (governador) de velocidade
66		Proteção de motor: supervisão do número de partidas
67	PTOC	Relé direcional de sobrecorrente
68		Relé de bloqueio por oscilação de potência
69		Dispositivo de controle permissivo
70		Reostato eletricamente operado
71		Dispositivo de detecção de nível
72		Disjuntor de corrente contínua
73		Contator de resistência de carga
74		Função de alarme
75		Mecanismo de mudança de posição
76		Relé de sobrecorrente DC
77		Transmissor de impulsos
78		Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contrafalta de sincronismo
79		Relé de religamento AC
80		Reservado para futura aplicação
81		Relé de sub / sobrefrequência
82		Relé de religamento DC
83		Relé de seleção/ transferência automática
84		Mecanismo de operação
85		Relé receptor de sinal de telecomunicação
86		Relé auxiliar de bloqueio
87B	PDIF	Proteção diferencial - barra
87T	PDIF	Proteção diferencial - transformador
87G	PDIF	Proteção diferencial - gerador
87L	PDIF	Proteção diferencial - linha
88		Motor auxiliar ou motor gerador
89		Chave seccionadora
90		Dispositivo de regulação

91		Relé direcional de tensão
92		Relé direcional de tensão e potência
93		Contator de variação de campo
94		Relé de desligamento
95 à 99		Reservado para aplicações específicas

Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.21 SCADA / HMI

O sistema SCADA é o software de supervisão, controle e aquisição de dados que, basicamente, irá realizar a comunicação operacional do sistema de automação e controle da subestação com o operador. Nele é configurada toda a base de dados do sistema sendo coletado e monitorado os valores de todas as variáveis tanto digitais como analógicas, além de gerar, também, informações, status de equipamentos, valores de variáveis e listas de alarmes e eventos juntamente ao diagrama unifilar da subestação para análise operacional e realização de manobras em equipamentos quando necessário.

Para o sistema SCADA funcionar é necessário a instalação do seu software em um computador contendo nele telas (interfaces) que contenham todas as informações necessárias dos equipamentos elétricos como tensão, corrente, frequência, posições de chaves e disjuntores, entre outras variáveis, a fim de o operador poder visualizar seus status e supervisionar o seu comportamento a fim de operar o sistema com segurança. Essas interfaces de comunicação entre o operador e os equipamentos de campo é definido pelas plataformas HMI que é Interface Homem Máquina.

O HMI foi desenvolvido para garantir a segurança dos operadores de campo permitindo aos operadores de campo manobram e supervisionem os equipamentos da subestação a distância pelo COS (Centro de operações) e a distância na subestação. Assim, o sistema de automação e controle tem fundamental importância na operação e supervisão da subestação elétrica.

No HMI nível 2 tem-se apenas aquisição e coleta de dados. Nele é possível verificar status de equipamentos como disjuntor aberto ou fechado, gráficos e dados indicadores de valores instantâneos, horários, diários e mensal de geração, carga, exportação e compra de energia.

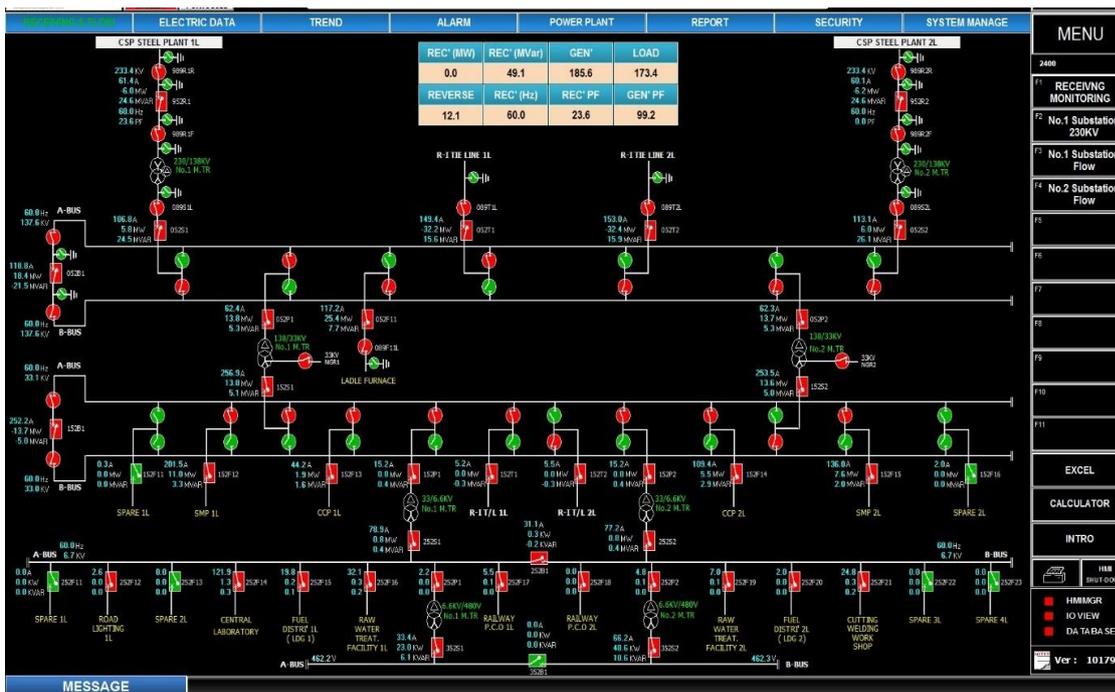
No HMI nível 1, além do sistema SCADA, tem-se a possibilidade de efetuar comandos para os equipamentos localizados na subestação. Permitindo, assim, a abertura e o fechamento de disjuntores e chaves seccionadoras.

Figura 71 – HMI NÍVEL 2: SCADA



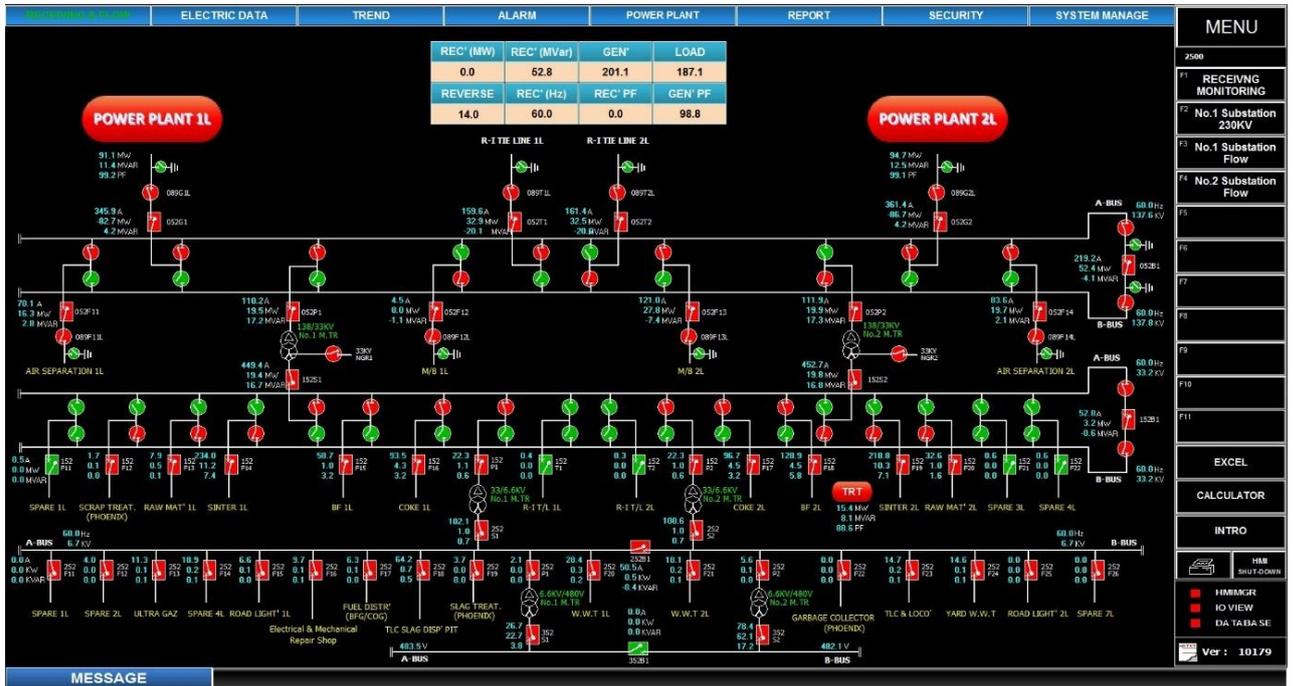
Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 72 – HMI nível 2: Subestação 01



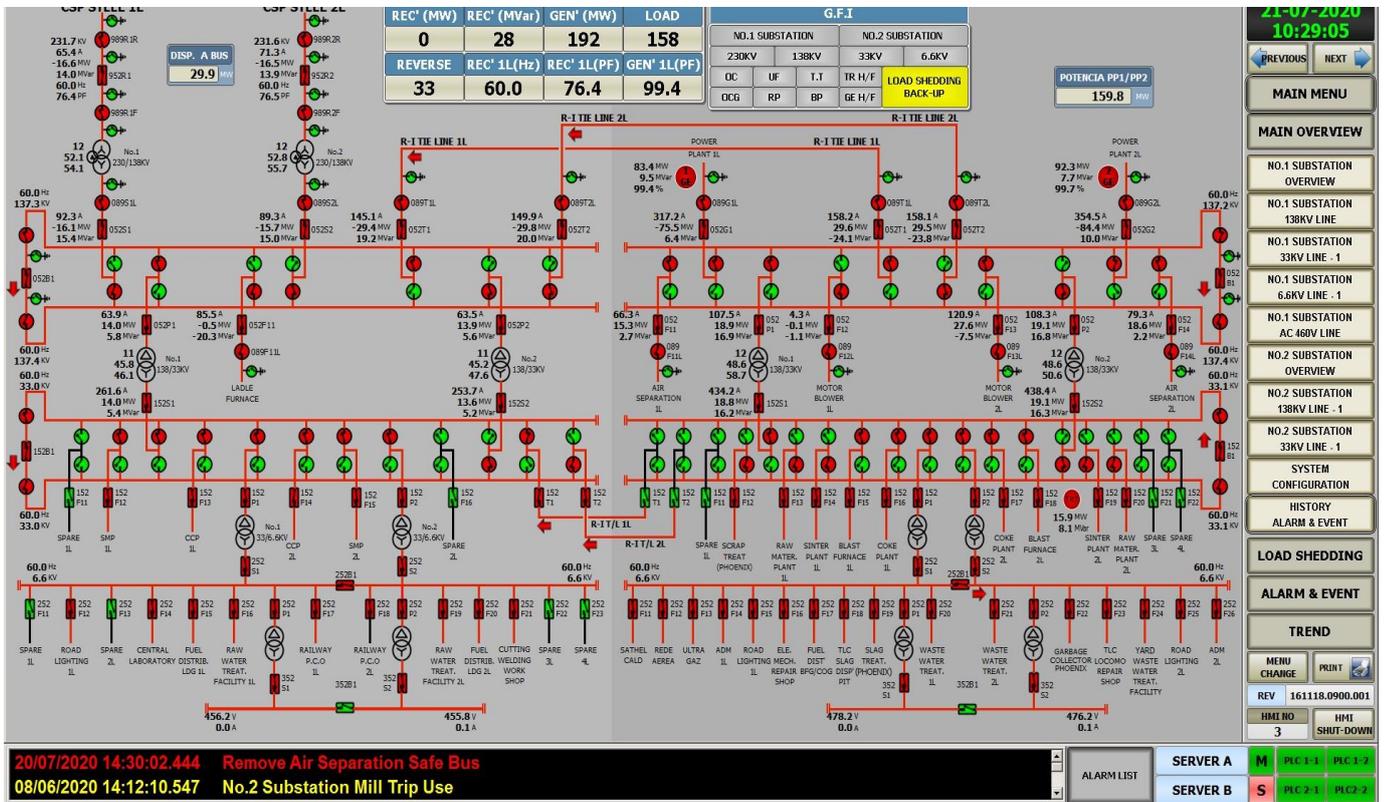
Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 73 - HMI Nível 2: Subestação 2



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 74 – SCADA: Visão geral



Fonte: Manual GIS SF6.

Figura 75 - SCADA: Alarmes

Time	Name	Alarm Comment	Value	Group	State
21/07/2020 11:22:12.236	mid_REMOVE_ALARM_POWER_06	Remove Air Separation Safe Bus	ON	ELECTRIC_LIGHT	ACK
21/07/2020 10:20:20.053	SS2_PL1_DB101_X252_05	No.2 Substation 138/33KV No.1 TR TAP Raise	OFF	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 10:20:20.053	SS2_PL1_DB101_X254_03	No.2 Substation 138/33KV No.2 TR TAP Raise	OFF	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 10:20:19.245	SS2_PL1_DB101_X252_05	No.2 Substation 138/33KV No.1 TR TAP Raise	ON	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 10:20:19.245	SS2_PL1_DB101_X254_03	No.2 Substation 138/33KV No.2 TR TAP Raise	ON	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:59:18.089	SS2_PL2_DB101_X793_06	No.2 Substation 33KV Coke Making Plant 1L Coke Coal Crusher #1 Load Shedding CB	ON	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:30:01.167	SS2_PL1_DB101_X252_04	No.2 Substation 138/33KV No.1 TR TAP Lower	OFF	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:30:01.167	SS2_PL1_DB101_X254_02	No.2 Substation 138/33KV No.2 TR TAP Lower	OFF	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:30:00.151	SS2_PL1_DB101_X252_04	No.2 Substation 138/33KV No.1 TR TAP Lower	ON	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:30:00.151	SS2_PL1_DB101_X254_02	No.2 Substation 138/33KV No.2 TR TAP Lower	ON	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 07:28:52.962	SS2_PL2_DB101_X793_06	No.2 Substation 33KV Coke Making Plant 1L Coke Coal Crusher #1 Load Shedding CB	OFF	ELECTRIC_EVENTS	
21/07/2020 04:57:41.709	SS2_PL1_DB101_X233_03	No.2 Substation 33KV Coke Making Plant 1L (152F16) PLC Fault	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 04:57:41.497	SS2_PL1_DB101_X233_03	No.2 Substation 33KV Coke Making Plant 1L (152F16) PLC Fault	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:45:15.230	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:45:14.842	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:45:13.839	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:44:56.042	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:19:32.259	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:19:31.858	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:19:03.859	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:19:01.868	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:57.263	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:18:51.268	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:50.282	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:18:38.453	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:37.877	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:18:31.851	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:29.457	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:18:22.072	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:19.869	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:18:17.876	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:18:13.877	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:17:02.542	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:17:00.535	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN
21/07/2020 02:16:52.129	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	ON	ELECTRIC_LIGHT	UNACK
21/07/2020 02:16:50.553	SS1_PL1_DB101_X154_00	Load Shedding Case 1 Overload	OFF	ELECTRIC_LIGHT	ACK_RTN

Displaying 1 to 35 of 744 alarms. Custom Query 100 % Complete

08/06/2020 14:12:10.547 No.2 Substation Mill Trip Use
 08/06/2020 14:12:10.547 No.2 Substation Load Shedding Back-Up Mode

SERVER A M PLC 1-1 PLC 1-2
 SERVER B S PLC 2-1 PLC 2-2

Fonte: Manual GIS SF6.

3.3.22 SPCI

O sistema de prevenção e combate a incêndios (SPCI) é o agente responsável por supervisionar, detectar, através de sensores de fumaça, chama e temperatura, alarmar por meio de buzina, assim, informando a todos os colaboradores da instalação a ocorrência do sinistro e combater qualquer princípio de incêndio localizado dentro das áreas da subestação utilizando sistema de hidrantes, CO₂, chuveiro automático (sprinklers), entre outros meios, atuando de forma rápida, eficiente e minimizando as perdas e danos maiores aos trabalhadores e em equipamentos. Visto que quanto mais rápido for a atuação do SPCI mais fácil e rápido será possível debelar ou controlar o fogo.

Vale ressaltar que para os alguns sistemas adotados, como subestações isoladas a gás SF₆ que são instaladas em ambientes fechados, modelo de subestação abrigada e climatizada, possuem o SPCI diferenciado. Nesses ambientes devido aos elevados riscos de danos pessoais e materiais causado pelo elevado nível de tensão e da corrente elétrica de curto-circuito é adotado como forma de proteção o sistema a gás de FM200 a fim de extinguir qualquer tipo de princípio incêndio.

O FM200 definido como heptafluorpropano é um agente extintor de alta

capacidade de supressão do fogo e que tem, também, a capacidade de manter o oxigênio no ambiente, assim, sendo inofensivo e sendo possível a presença de pessoas no local. Por se tratar de um gás não deixa rastros e é um agente limpo, assim, não prejudica ao meio ambiente e nem causando nenhum impacto na camada de ozônio.

Figura 76 – Cilindro de FM200



Fonte: Manual GIS SF6.

4 CONCLUSÃO

Conforme mencionado no capítulo 1, o presente trabalho de conclusão de curso possui como um de seus propósitos fornecer aos estudantes e engenheiros um material elétrico atualizado, objetivo e com informações concretas referente a subestação isoladas a gás SF₆ para alta tensão. Ela possui a finalidade de substituir as subestações elétricas convencionais já existentes com a proposta de compactação dos equipamentos elétricos, assim, exigindo uma área disponível menor para suprir a mesma demanda de uma subestação convencional.

No desenvolvimento deste trabalho é apresentado como revisão bibliográfica atualizada os vários tipos, características e principais elementos que formam uma subestação elétrica convencional. Todas as informações declaradas foram realizadas de forma objetiva e clara a fim de facilitar o entendimento das diferenças entre as subestações convencionais e subestação isolada a gás SF₆.

Uma subestação isolada a gás SF₆, conceitualmente, provém de um conhecimento semelhante ao de uma subestação convencional. Porém, estruturalmente, a tecnologia estudada apresenta a integração dos seus equipamentos instalados em módulos e utilizando o meio de isolamento e extinção de arco elétrico o gás SF₆.

As subestações aéreas são construídas ao ar livre e necessitam de uma grande área para a instalação. No geral possui o menor custo de implantação. Em contrapartida, a exposição dos equipamentos elétricos as condições climáticas é direta e acaba gerando altos custos de manutenção devido a necessidades de curtos períodos de atuação no reparo dos equipamentos.

As subestações abrigadas são construídas em lugares fechados, assim, eliminando a depreciação dos equipamentos elétricos pelas condições climáticas. Entretanto, possui um maior custo de implantação devido a necessidade de equipamentos específicos que atendam ao modelo adotado. O seu período de manutenção não é estendido gerando, assim, um custo regular destinado ao reparo dos equipamentos elétricos.

As subestações isoladas a gás SF₆ podem ser do tipo aérea ou abrigada, podendo ser possível qualquer tipo de conexão com o gás SF₆, seja óleo ou ar. Por suas interligações serem realizadas através de módulos, isso acaba facilitando e tornando mais rápido a montagem e o comissionamento devido a fabricação de elementos padronizados e testados em fábrica, não sendo necessário a utilização de ferramentas especiais e impactando significativamente no custo de implantação da subestação.

Devido a compactação e a forma de isolamento dos barramentos de uma subestação isoladas a gás SF₆ é possível estabelecer uma distância bem próxima entre cada fase do barramento, tornado a possibilidade de ampliação mais fácil e viável.

Outro fator que impacta significativamente na redução de custo ao se optar por uma subestação isolada a gás SF₆ é quando se trata sobre o período de manutenção. Os equipamentos elétricos utilizados possuem baixa deterioração, assim, gerando um tempo de manutenção quase zero quando comparada aos outros modelos de subestações.

Em virtude de todas as diferenças, vantagens e desvantagens disponibilizadas para a análise técnica mostrada entre os variados modelos de subestações expostos, foi possível avaliar os impactos causados ao se optar por uma subestação isolada a gás SF₆ em vez de uma subestação convencional.

Desta forma, pode-se observar e tomar conhecimento das grandes qualidades que a subestação isolada a gás SF₆ tem a oferecer para o sistema elétrico e para o setor industrial. Pode-se ganhar em espaço, tempo de implantação e em manutenção ao se utilizar um sistema de alto padrão de qualidade, confiabilidade e segurança operacional.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros sobre o tema abordado, sugere-se:

- Operação e manutenção de subestações isoladas a gás SF₆ para alta tensão.
- Ensaio elétrico de subestações isoladas a gás SF₆ para alta tensão.
- Projeto de uma subestação elétrica isolada a gás SF₆ para alta tensão.

REFERÊNCIAS

A GERADORA. O que é uma subestação? Disponível em:

<https://www.ageradora.com.br/o-que-e-uma-subestacao/>. Acesso em: 10 fev. 2020.

NEOENERGIA. Glossário do setor elétrico. Disponível em:

<http://ri.neoenergia.com/wp-content/uploads/sites/32/2017/12/Gloss%C3%A1rio-do-Setor-El%C3%A9trico.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

ANEEL. Resolução Normativa ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010 (Diário Oficial de

15 de set. 2010). Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

Alta tensão. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Alta_tens%C3%A3o.

Acesso em: 10 fev. 2020.

PROLIFE. Classificação de tensão da NR10: Tudo o que você precisa saber. Disponível em:

<https://prolifeengenharia.com.br/classificacao-de-tensao-da-nr10/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

ANEEL. Regulação dos serviços de distribuição. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao>. Acesso em: 25 mar. 2020.

Alta tensão. Níveis de tensão elétrica. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Alta_tens%C3%A3o. Acesso em: 25 mar. 2020.

ANEEL. Glossário sistema elétrico. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/glossario>.

Acesso em: 15 jun. 2020.

Global System. FM-200 Sistema de supressão e combate a incêndio. Disponível em:

<https://www.globalsyst.com.br/site/produtos/combate-a-incendio-fm-200/>. Acesso em: 08 ago. 2020.

Bucka. Conheça as aplicações do FM-200 para combate de incêndios. Disponível em:

<https://www.bucka.com.br/conheca-as-aplicacoes-do-fm-200-para-combate-de-incendios/>.

Acesso em: 12 ago. 2020.

Cigré Brasil. Manuseio, segurança e manutenção de Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) em

equipamentos elétricos. Disponível em: http://www.cigre.org.br/archives/BT_10_final.pdf.

Acesso em: 28 ago. 2020.

Mamede Filho, J.M. Instalações elétricas industriais. 9ª Edição, LTC, Rio de Janeiro, 2017.

Ministério Público do Trabalho NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade.

07 dez. 2004.

ABNT. NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, dez. 2003.

THEMAG ENGENHARIA. Subestações elétricas. Disponível:
<http://www.themag.com.br/pdf/substacao.pdf>. Acesso: 19 jun. 2020.

Sergio O. Frontin. Equipamentos de alta tensão. 1ª Edição, Brasília, 2013.

Hyosung. Manual GIS do fabricante.

Lorencini. Subestações Eétricas. Disponível em:
<https://www.lorencini.com.br/blog/o-que-e-uma-subestacao-de-energia-e-como-funciona/#:~:text=A%20subesta%C3%A7%C3%A3o%20transformadora%20abaixadora%20converte,de%20um%20sistema%20de%20transmiss%C3%A3o>. Acesso em: 21 out. 2020.

DMP Engenharia Elétrica Complexa. Subestações elétricas. Disponível em:
<http://dpm.com.br/o-que-e-e-para-que-serve-uma-subestacao-eletrica/>.
Acesso em: 21 out. 2020.