

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE ACOMETIDA LÍNEA SUBTERRANEA 45kV, SUBESTACION TRANSFORMADORA 45/20kV Y DISTRIBUCIÓN

Autor: Alberto Martínez González

Tutor: J. Carlos Burgos Díaz

PFC Alberto Martínez González

Índice:

- Definiciones teóricas.
- Soluciones adoptadas.
- Cálculos utilizados.

Definiciones teóricas.

En la Instrucción Técnica Complementaria [MIE-RAT-01](#), están definidos los términos que se utilizan en el proyecto y en la siguiente presentación. Entre ellos destacamos:

- **Alta tensión:** Se considera alta tensión toda tensión nominal superior a 1 KV.
- **Subestación:** Conjunto situado en un mismo lugar, de la aparamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realiza alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del numero de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o mas circuitos. Quedan excluidos de esta definición los centros de transformación.
- **Centro de transformación:** Instalación provista de uno o varios trasformadores reductores de Alta a Baja Tensión con la aparamenta y obra complementaria precisas.
- **Aparato extraíble:** Aparato que posee dispositivos de conexión que permiten, bajo tensión pero sin carga, separarlo del conjunto de la instalación y colocarlos en una posición de seguridad en la cual sus circuitos de Alta Tensión permanecen sin tensión.
- **Corriente de cortocircuito máxima admisible:** *Valor de la corriente de cortocircuito que puede soportar un elemento de la red durante una corta duración especificada.*
- **Instalación de tierra general:** Es la instalación de tierra resultante de la interconexión de todas las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación.

Definiciones teóricas.

- **Interruptor:** Aparato dotado de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y el cierre de un circuito, que tiene, dos posiciones en las que puede permanecer en ausencia de acción exterior y que corresponden, una a la apertura y la otra al cierre del circuito.
- **Interruptor automático:** Interruptor capaz de establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o de interrumpir automáticamente o establecer, en condiciones predeterminadas intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito.
- **Seccionador:** Aparato mecánico de conexión que, por razones de seguridad, en posición abierto, asegura una distancia de seccionamiento que satisface a condiciones especificadas, un seccionador es capaz de abrir y cerrar un circuito cuando es despreciable la corriente a interrumpir o a establecer, o bien cuando no se produce cambio apreciable de tensión en los bornes de cada uno de los polos del seccionador. Es también capaz de soportar corrientes de paso en las condiciones normales del circuito, así como durante un tiempo especificado en condiciones anormales, tales como las de cortocircuitos.
- **Tensión de contacto aplicada:** Es la parte de la tensión de contacto que resulta directamente aplicada entre dos puntos del cuerpo humano, considerando todas las resistencias que intervienen en el circuito y estimándose la del cuerpo humano en 1000 ohmios.
- **Tensión de paso:** Es la tensión que resulta directamente aplicada entre los pies de un hombre, teniendo en cuenta todas las resistencias que intervienen en el circuito y estimándose la del cuerpo humano en 1000 ohmios.

Índice:

- Definiciones teóricas.
- Soluciones adoptadas.
- Cálculos utilizados.

Soluciones adoptadas.

- La utilización de la planta, es un proceso continuo, por lo que se opta por doble línea de alimentación, asegurando de este modo el suministro.
- Por el mismo motivo se adopta la configuración de dos transformadores principales en paralelo de modo que en caso de mantenimiento o avería en uno de ellos la planta pueda disfrutar de al menos los servicios mínimos.
- En previsión de una futura ampliación se contempla un hueco para un tercer transformador así como una tercera cabina de 45kV para la alimentación del mismo.

Soluciones adoptadas.

- La planta estará dotada de una cogeneración y previo acuerdo con la compañía suministradora, se podrá exportar potencia a la red, pero solo por una de las líneas, la denominada línea Normal.
- Los procesos productivos de encuentran claramente localizados por zonas dentro de las instalaciones, con idea de poder independizar dichos procesos en casos de mantenimiento o avería, se opta por un sistema de reparto, basado en 7 centros de transformación. Visible en plano 2

Soluciones adoptadas.

Replanteo Centro de Transformación

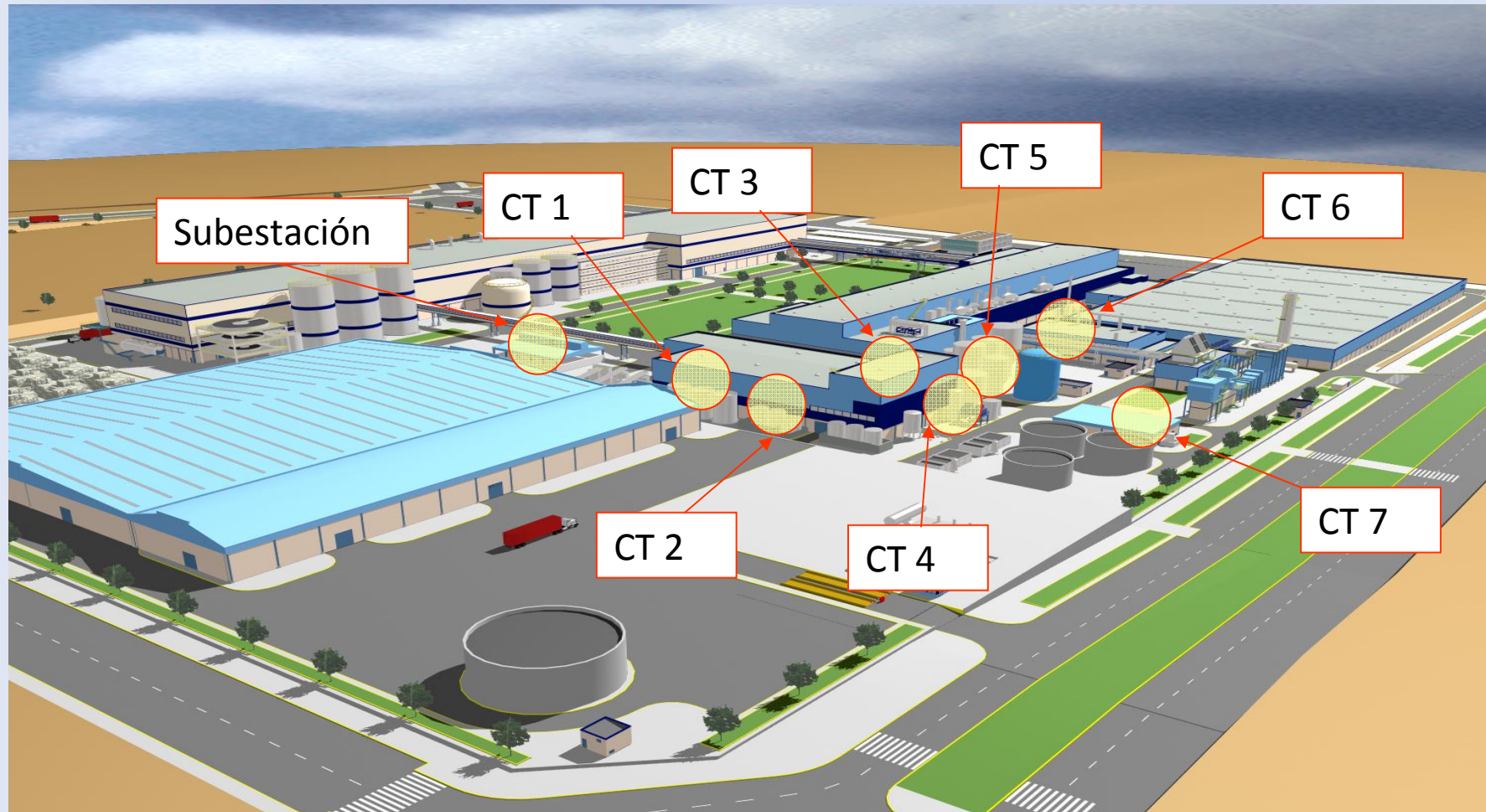


Imagen cedida por Holmen Paper A.B.

PFC Alberto Martínez González

Soluciones adoptadas.

Cabinas Sistema de 45 kV

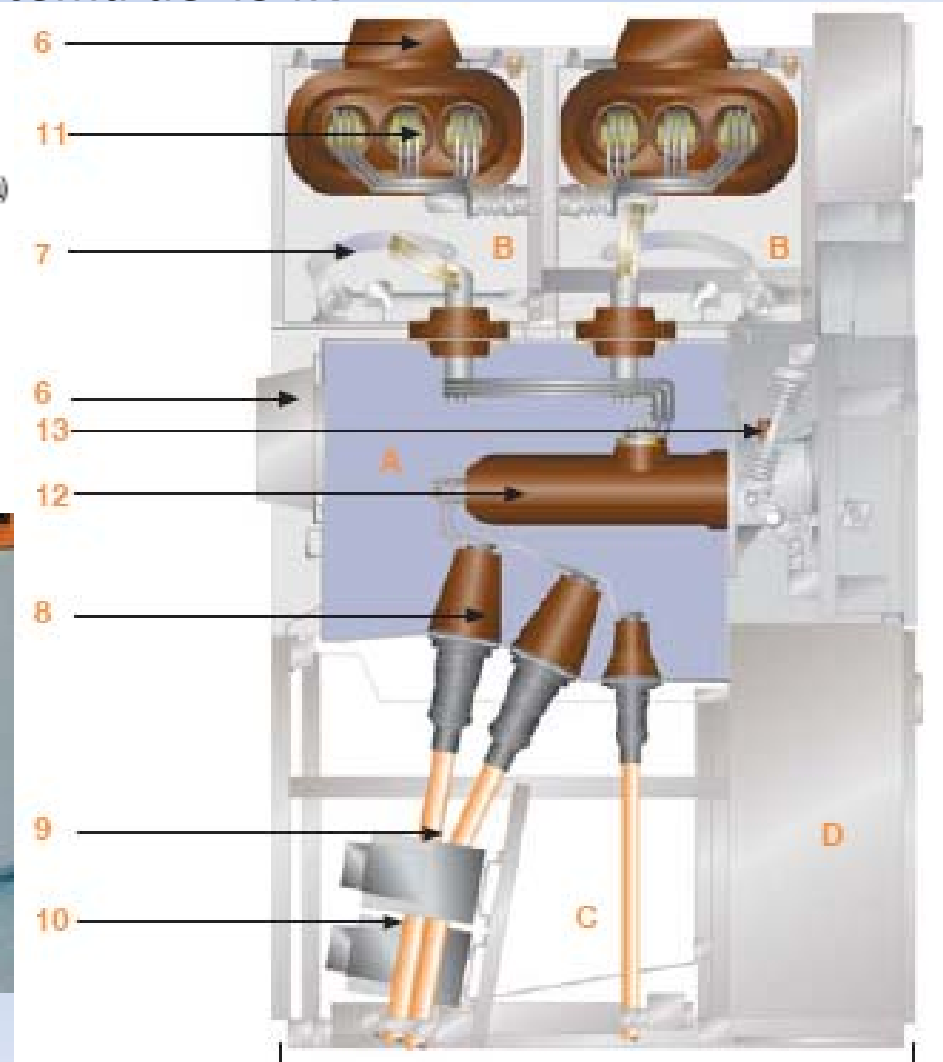
Cada una de las líneas dispondrá de :

- Celda de línea, con 1 interruptor, 1 seccionador tripolar de aislamiento, equipado con cuchillas de puesta a tierra que va enclavado con el seccionador de la compañía.
- Celda de salida a transformador, con 1 interruptor, 1 seccionador tripolar de aislamiento, equipado con cuchillas de puesta a tierra.
- Celdas de acoplamiento y medida de la compañía suministradora, con 1 seccionador tripolar de aislamiento, equipado con cuchillas de puesta a tierra.

Soluciones adoptadas.

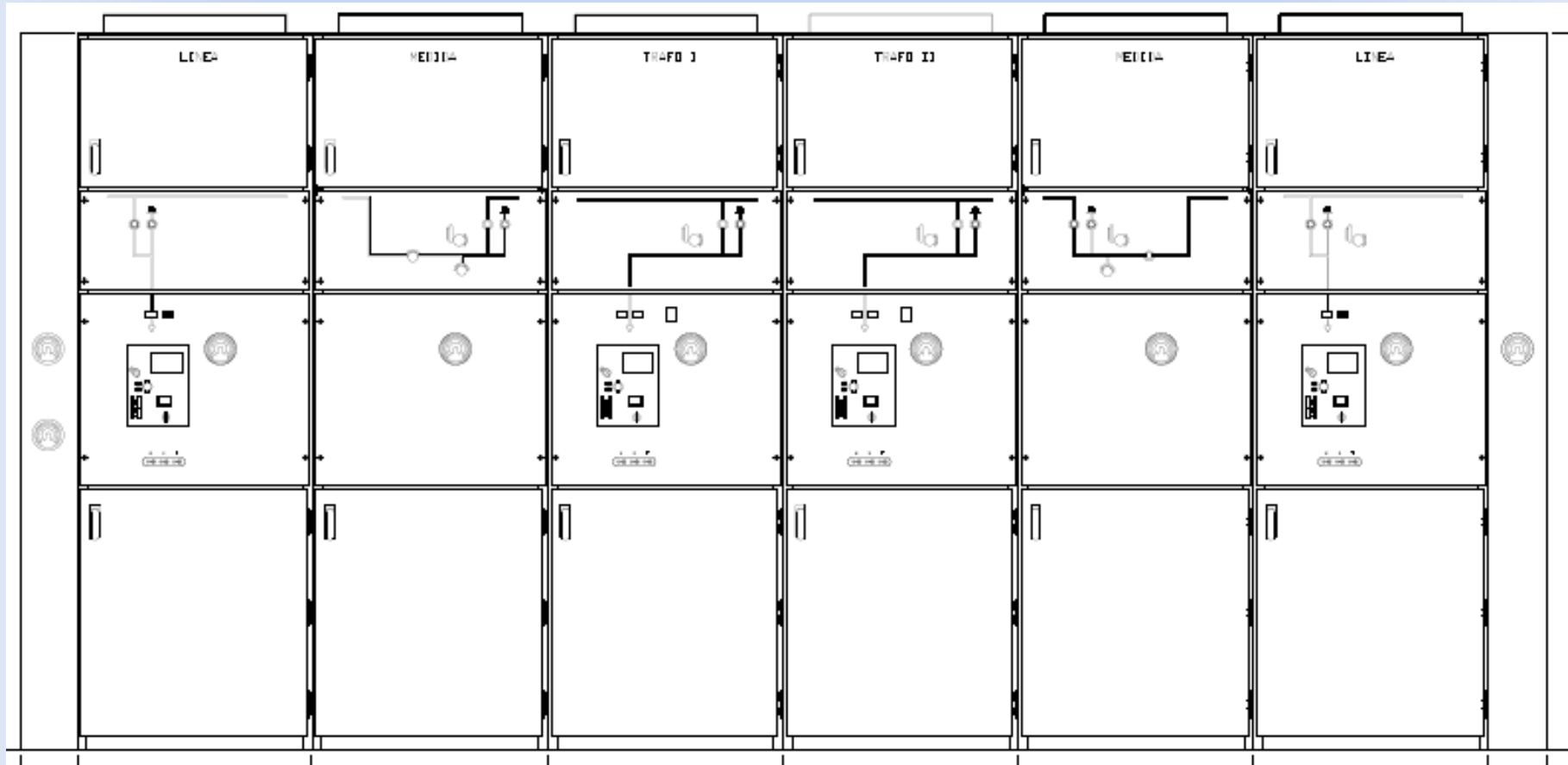
Cabinas Sistema de 45 kV

- A Compartimento de interruptor automático
 - B Compartimento de barras
 - C Compartimento de cables
 - D Compartimento de Baja Tensión
 - 6 Clapetas de descompresión
 - 7 Seccionador de tres posiciones (servicio-abierto-puesto a tierra)
 - 8 Zócalos para la conexión de cables
 - 9 Cables de acometida
 - 10 Transformadores de intensidad
 - 11 Barras generales
 - 12 Interruptor automático
 - 13 Presostato
- (1) Distancias para CBGS-1 (24 kV - 36 kV)
(2) Distancias para CBGS-2 (52 kV)



Soluciones adoptadas.

Cabinas Sistema de 45 kV



Vista en hoja de planos nº8

PFC Alberto Martínez González

Soluciones adoptadas.

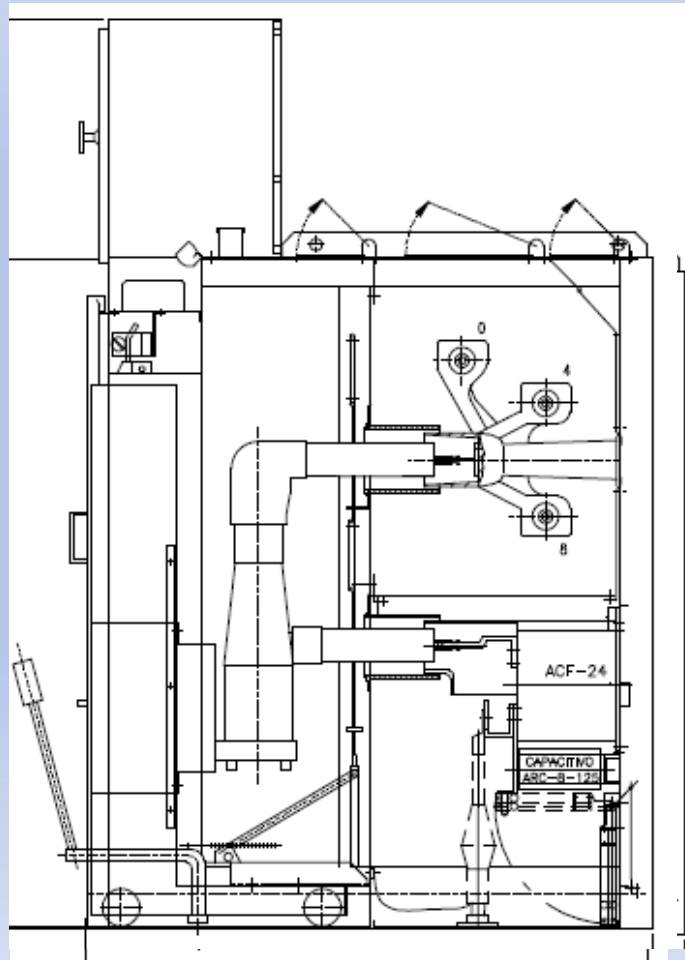
Cabinas Sistema de 20 kV (CENTRO DE DISTRIBUCIÓN)

Cabinas que conforman el sistema:

- 2 Celdas de transformador, cada una con interruptor desenchufable y seccionador tripolar de puesta a tierra.
- 7 celdas de línea, cada una con interruptor desenchufable y seccionador tripolar de puesta a tierra.
- 2 celdas de batería de condensadores, cada una con interruptor desenchufable y seccionador tripolar de puesta a tierra.
- 1 celda de medida de barras con fusibles de protección, formando un conjunto desenchufable.
- 1 celda de servicios auxiliares, con 3 fusibles APR de 24kV desenchufable, para operación o mantenimiento.
- 1 celda destinada a la cogeneración de planta, equipada con 1 interruptor desenchufable y seccionador tripolar de puesta a tierra.

Soluciones adoptadas.

Cabinas Sistema de 20 kV (CENTRO DE DISTRIBUCIÓN)

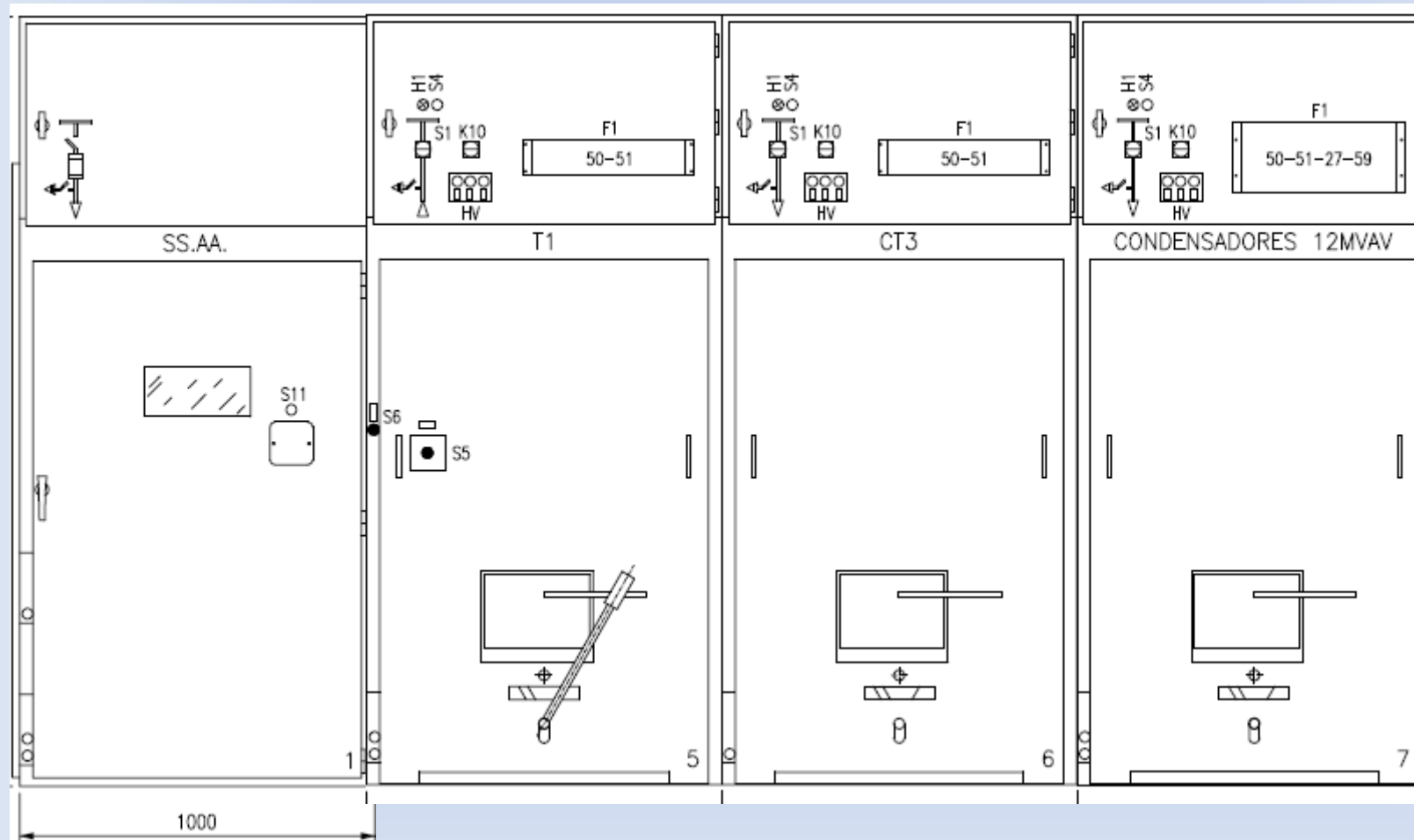


Salidas CT y Condensadores
Servomecanismos

PFC Alberto Martínez González

Soluciones adoptadas.

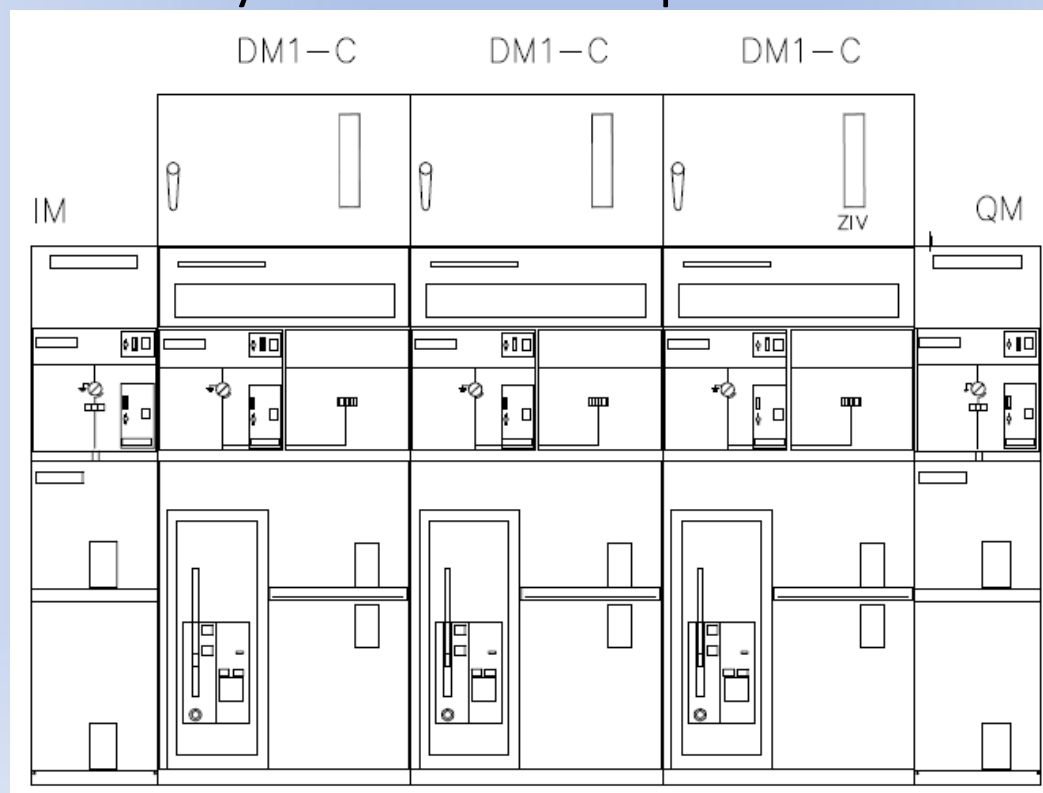
Cabinas Sistema de 20 kV (CENTRO DE DISTRIBUCIÓN)



Soluciones adoptadas.

Cabinas Sistema de 20 kV (CENTROS DE REPARTO)

- El sistema eléctrico de 20kV de cada centro de reparto consiste en un conjunto de celdas en simple barra a las que acometen las llegadas de línea y distintas salidas para transformador de M.T./B.T.



Soluciones adoptadas.

Transformación y Alimentaciones

- El equipo principal de transformación lo constituyen, 2 transformadores de 45/20kV, 20 MVA, con regulación en vacío en el lado de alta tensión, con refrigeración ONAF.
- Los transformadores están instalados en cada uno de los centros de regulación de tensión para la regulación de la tensión natural.
- La alimentación de emergencia de corriente alterna, se realiza mediante transformadores de tipo seco de 100kVA, 20.000/220V.
- Para mantener el sistema de regulación de tensión en emergencia se dispone de dos equipos de regulación de tensión de tipo seco de corriente continua del 20kV y como reserva se dispondrá de dos equipos de regulación de tensión de tipo seco de corriente continua de cada uno de los centros de regulación de tensión y de acumuladores de energía.



Soluciones adoptadas.

Protecciones

- Sistema de 45 kV:
 - Las protecciones de línea dispondrán de sobreintensidad instantánea y tiempo inverso, así como de las protecciones propias de los sistemas de cogeneración exigidos por la compañía suministradora. Irán dotadas asimismo de equipo de teledisparo.
 - Las protecciones de transformadores dispondrán de protección diferencial, y de sobreintensidad de tiempo inverso e instantánea, así como de las protecciones mecánicas propias de la máquina.
- Sistema de 20 kV (CENTRO DE DISTRIBUCIÓN):
 - Las posiciones de línea, dispondrán de protecciones de sobreintensidad y las de transformador de protección diferencial, de sobreintensidad para alta del trafo y sobreintensidad para la p.a.t.
- Sistema de 20 kV (CENTROS DE REPARTO):
 - Las protecciones de transformador y línea irán equipadas con protecciones de sobreintensidad de tiempo inverso e instantánea, así como protección contra defectos a tierra en los trafos.
- Transformadores:
 - Las protecciones de los transformadores principales se realizarán por actuación de los contactos de Buchholz (relé de gases), liberador de presión, temperatura (26), neutro (51N) y protección diferencial del sistema, actuando sobre los interruptores de ambos lados de la máquina.
 - Los transformadores de distribución irán provistos de sondas de temperatura.

Soluciones adoptadas.

Medida

- Sistema de 45 kV:
 - En las posiciones de línea se dispondrán un amperímetro y un convertidor de potencia activa-reactiva, y en las de transformador, convertidor de potencia activa-reactiva.
 - Las celdas de medida llevarán un voltímetro, para la medida de tensión en cada barra.
- Sistema de 20 kV (CENTRO DE DISTRIBUCIÓN):
 - La celda de medida llevará un voltímetro para la lectura de la tensión de barras.
 - Los circuitos de intensidad y tensión de los aparatos de medida y protección están alimentados, los primeros, por los transformadores de intensidad instalados en cada posición, y los segundos, por un juego trifásico de transformadores de tensión conectado a las barras.

Soluciones adoptadas.

Mejora de cos phi y filtro de Armónicos

- Con objeto de mejorar el coseno de phi y efectuar un filtrado de armónicos adecuado en el sistema de 20kV, se ha previsto la instalación de dos baterías de condensadores que se maniobrarán de forma automática, controlada por un PLC.
- Se han establecido 4 niveles.
 - Sin condensadores.
 - Batería de 6 MVAR.
 - Batería de 12 MVAR.
 - Ambas baterías.
- Estos condensadores además de mejorar el coseno de phi servirán de filtro sintonizado al 5º armónico, esto sumado a la conexión estrella de los secundarios de los transformadores que nos eliminará el 3º armónico no asegurará una buena calidad de alimentación.

Soluciones adoptadas.

Como Funciona un Filtro sintonizado

Un filtro sintonizado es una asociación de condensador, bobina y resistencia en serie.



La impedancia de bobinas y condensadores es dependiente de la frecuencia y esta es la base del funcionamiento. Consiste en que a la frecuencia requerida, en nuestro caso el 5º armónico (2500Hz), la impedancia del condensador y de la bobina sea cero y de este modo las corrientes de esta frecuencia se descargan a través de la resistencia a tierra.

Índice:

- Definiciones teóricas.
- Soluciones adoptadas.
- Cálculos utilizados.

Cálculos utilizados.

Cálculo de secciones de cables

Se ha desestimado en todos los cálculos de secciones de cables la caída de tensión ya que las longitudes son cortas y por tanto la caída muy pequeña, P. Ejem.

Cables de 45 kV

$$R = \varphi \cdot \frac{l}{S} = 0,017 \cdot \frac{160}{240} = 0,011 \Omega \quad V = I \cdot R = 745 \cdot 0,011 = 8,5 V$$

Cálculos utilizados.

Cálculo de secciones de cables

Para el cálculo de la sección de los cables de 45 kV se ha tenido en cuenta la potencia instalada y la futura.

$$I_T = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{58.000}{\sqrt{3} \cdot 45} = 744,15A$$

Esta intensidad se ha comparado con la admitida por el cable, según datos del fabricante con un factor de reducción por profundidad de enterramiento y otro por formar una composición de cables en paralelo de acuerdo a la ITC-07 y la norma UNE-20435.

Si la intensidad admitida es mayor que la de utilización el cable será válido.

$$744,15A < 756A$$

Cálculos utilizados.

Cálculo de secciones de cables

Del mismo modo que en 45 kV en 20 kV se ha calculado la sección en base a la potencia instalada en el C.T. correspondiente y teniendo en cuenta el factor de restricción por ir enterrado en banco de tubos.

- **C.T. N°1**

Ud. Trafos de 3150kVA	1	3.150	3.150 KVA
Ud. Trafo de 2500kVA		2	2.500 5.000 KVA
Ud. Trafos de 630kVA	1	630	630 KVA
Ud. Trafo de 2.500KVA (reserva)		2.500	2.500 KVA

POTENCIA TOTAL

11.280 KVA

$$I_T = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot 20} = 326A \leq 390A$$

Cálculos utilizados.

Cálculo de corrientes de cortocircuito en embarrados

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se parte del supuesto más desfavorable, en el que suponemos que la impedancia de cortocircuito de la red es cero es decir, potencia de cortocircuito de la red infinita.

Transformadores 45/20 kV:

- Conocida la impedancia de CC del trafo, 12%
- Conocida la tensión de primario, 45 kV.
- Conocida la potencia aparente, 20 MVA.

Cálculos utilizados.

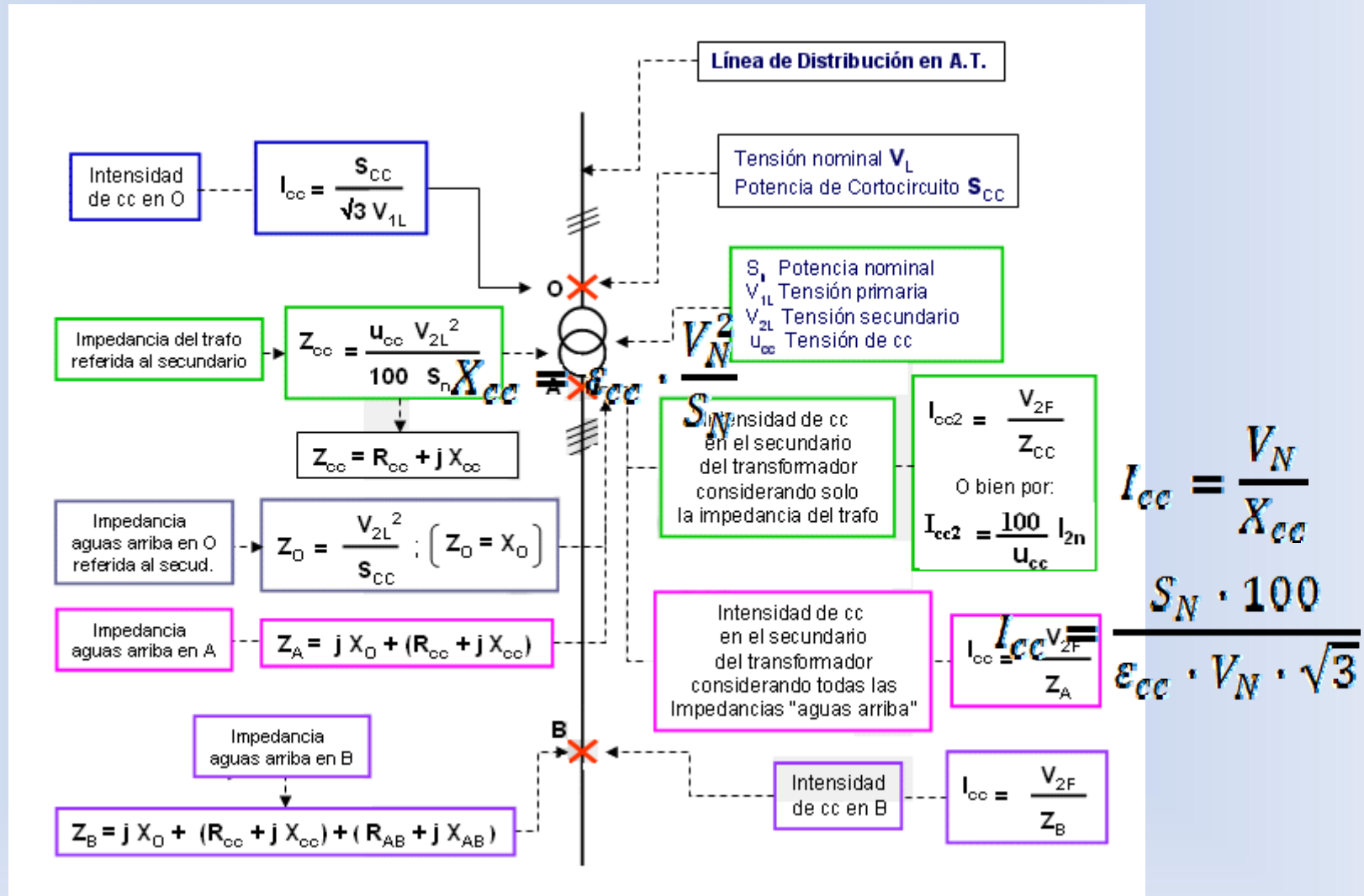
Cálculo de corrientes de cortocircuito en embarrados

El dato ofrecido por el fabricante (ϵ_{cc}) es el obtenido en el ensayo de cortocircuito, este ensayo se realiza cortocircuitando el secundario y subiendo la tensión del primario hasta que por el secundario circule la corriente nominal.

El dato se entrega en porcentaje y refleja el porcentaje de tensión, respecto a la nominal, aplicada para que por el secundario circule dicha corriente.

Cálculos utilizados.

Cálculo de corrientes de cortocircuito en embarrados



Cálculos utilizados.

Cálculo tensiones de paso y contacto

Para calcular los valores teóricos de las tensiones de paso y contacto, se ha seguido el método que figura en la I.E.E.E. GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING, edición 1986, según la cual:

- Tensión de contacto

$$E_c = \rho \times K_m \times K_i \frac{I_g}{L}$$

- Tensión de paso

$$E_s = \rho \times K_s \times K_i \frac{I_g}{L}$$

I_g = Corriente disipada a través de la malla
 L = Longitud del conductor enterrado
 ρ = Resistividad del terreno natural

K_m , K_i y K_s son tres coeficientes

Cálculos utilizados.

Cálculo tensiones de paso y contacto

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[1n \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ll}}{Kh} 1n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_{ll} = \frac{1}{2/n(2n)} = 0,700 \quad K_h = \sqrt{1 + h/h_0} = \sqrt{1 + 0,8/1} = 1,341$$

h = Profundidad de la malla = 0,8 m

D = Separación entre conductores paralelos = 2 m

n = Número de conductores paralelos a una dirección = 21

d = Diámetro del conductor = 0,1425 m

h₀ = 1

Cálculos utilizados.

Cálculo tensiones de paso y contacto

$$E_n = 100 \times 0,482 \times 4,26 \times \frac{5.550}{940} = 1086,57V \quad E_s = 100 \times 0,471 \times 4,26 \times \frac{5.550}{940} = 1184,86V$$

Según el apartado [1.1 del RAT-13](#) y teniendo en cuenta la modificación publicada en el B.O.E. de 5 de Diciembre de 1987, las tensiones de paso y contacto admisibles en la instalación serán

$$V_c = \frac{72}{0,5} \left(1 + \frac{1,5 \times 100}{1000} \right) = 165,6V \quad V_p = \frac{10 \times 72}{0,5} \left(1 + \frac{6 \times 100}{1000} \right) = 2.304V$$

El valor de V_c es inferior al obtenido por cálculo teórico, pero dado que la malla se encuentra bajo una capa de hormigón de 40cm de espesor, la resistividad media del terreno (ρ_s) resulta de 4426,7 ohmios para un valor de la resistividad superficial de la grava igual a 5.000 Ohm·m.

$$V_c = \frac{72}{0,5} \left(1 + \frac{1,5 \times 4426,7}{1000} \right) = 1100V$$

**PROYECTO DE EJECUCIÓN DE ACOMETIDA LÍNEA SUBTERRANEA
45kV, SUBESTACION TRANSFORMADORA 45/20kV Y DISTRIBUCIÓN**

Gracias por su atención