

CÁLCULO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA¹

GENERALIDADES

- Calcular la demanda máxima de la instalación, considerar la potencia instalada, factor de demanda, tener cuidado con el sistema de unidades.
- La demanda máxima obtenida (potencia activa en kW) se debe expresar como potencia aparente en kVA dado que la potencia de los transformadores está dada en kVA, si no se tiene el factor de potencia de la instalación como dato del problema, se puede asumir el factor de potencia nominal de la carga de los transformadores como 0.8
- Considerar si en el dato del proyecto se ha indicado algún plan de expansión futura o algún factor adicional fuera del estándar; también se debe revisar si se ha indicado el modo de trabajo de la planta para considerar 1 ó más transformadores y si estos trabajaran en paralelo en BT; así como si la potencia de cada uno es igual o diferente.
- Con los datos anteriores se seleccionará el ó los transformadores de distribución, no olvidar que la potencia de diseño del transformador es 1.25 veces la potencia nominal demandada, se debe seleccionar transformadores con potencias nominales normalizadas del mercado.
- Con los transformadores seleccionados se realizarán los cálculos de los fusibles de cada transformador, el interruptor general con protección contra sobrecarga y cortocircuito.
- Para calcular la protección contra cortocircuito se debe conocer la Potencia de cortocircuito Pcc entregada por la empresa eléctrica, si no se conoce se puede asumir 250 o 300 MVA para niveles de tensión 10 o 12 kV.
- Con los valores de potencia aparente de o de los transformadores también se calcula el interruptor de baja tensión, para la selección de este se debe considerar la potencia de cortocircuito en BT, tener cuidado con las unidades,
- Finalmente, por el momento solo se indica que se debe tener una instalación de puesta a tierra.

PROBLEMA

La planta concentradora de Sociedad Minera Carolina procesa minerales de cobre y plata con una capacidad de 1200 TM/día, el procesamiento es mediante un proceso continuo por sectores y se inicia con la entrada de bloques de mineral en la tolva de gruesos; la planta se encuentra en Cajamarca a 4000 msnm, el suministro eléctrico es trifásico, 60 Hz y es suministrado por la empresa Hidrandina en 10 kV.

Las cargas estimadas de la planta son las siguientes

Sección de planta	Potencia instalada (kW)	Tensión (V)	Factor de demanda (FD)	Factor de potencia (cos ϕ)
Chancado	138	440	0,6	0,81
Molienda	220	440	0,7	0,84
Flotación	180	440	0,7	0,85
Secado y filtrado	65	440	0,7	0,81
Servicios generales	100	440	0,5	0,80
Alumbrado	50	220	1,0	0,90

¹ El texto fue elaborado originalmente por el Ing. Marco Banda, a quien se agradece el haberlo cedido para su uso en los cursos de "Instalaciones de Baja Tensión y Sistemas eléctricos"

Se pide lo siguiente:

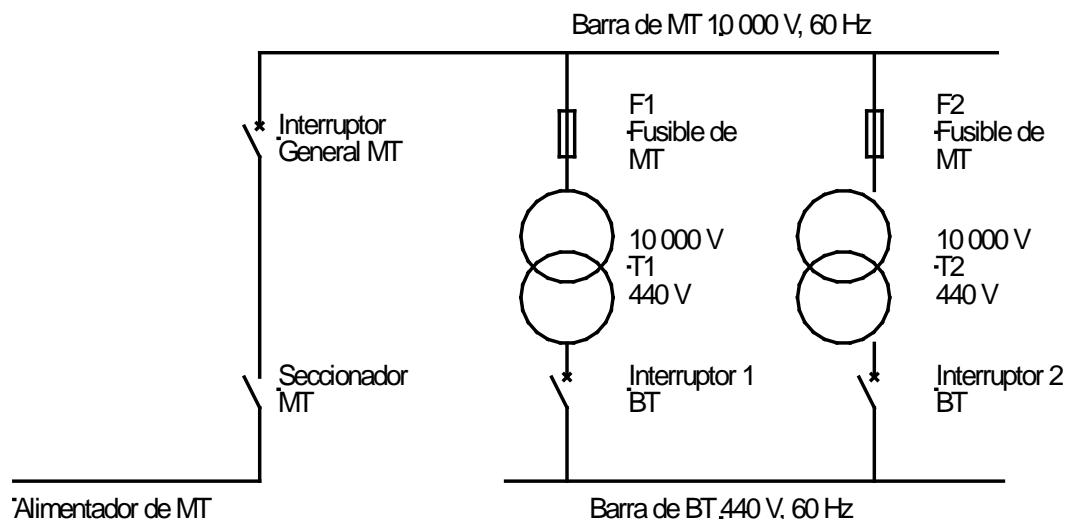
1. Diagrama unifilar de la SE considerando la celda de llegada, celdas de transformación y la barra general de baja tensión.
2. Selección de los equipos componentes de las celdas de llegada y celdas de transformación (no considerar el cálculo del cable de energía en 10 kV. por qué el curso solo comprende instalaciones eléctricas hasta 1000 V con excepción de los equipos componentes de la subestación.
3. Selección del interruptor de baja tensión de cada transformador.

SOLUCIÓN

Diagrama Unifilar

El diagrama unifilar de la subestación debe ser dibujado utilizando los símbolos normalizados indicados en los documentos “Símbolos Gráficos en Electricidad” y “Terminología en Electricidad” disponibles en el Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=6&idTitular=126&idMenu=sub114&idCateg=126>



Calculo de la máxima demanda (MD)

$$MD = \sum PI \times FD$$

$$MD = (138 \text{ kW} \times 0,6) + (220 \text{ kW} \times 0,7) + (180 \text{ kW} \times 0,7) + (65 \text{ kW} \times 0,7) + (100 \text{ kW} \times 0,5) + (50 \text{ kW} \times 1,0) = 508,3 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia de diseño de los transformadores

$$Potencia_{Transformadores} = 1,25 \times MD = 508,3 \text{ kW} \times 1,25 = 635,4 \text{ kW}$$

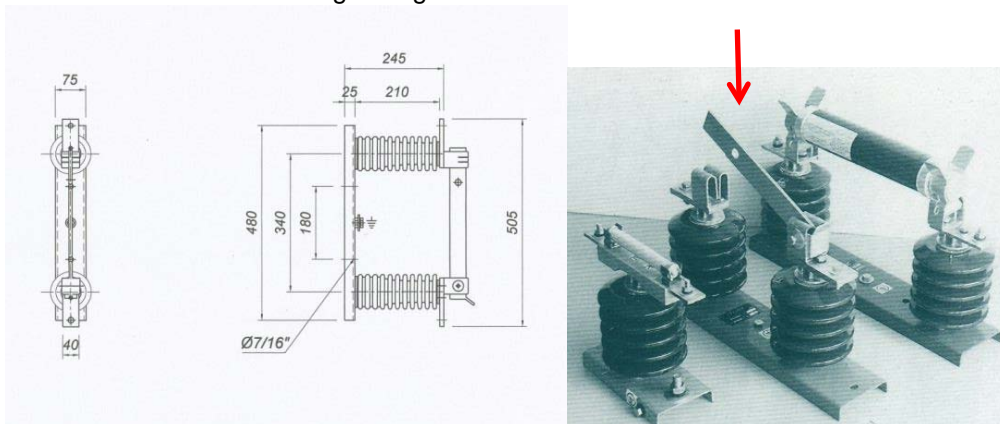
La potencia nominal de los transformadores se expresa como potencia aparente (kVA), supondremos un factor de potencia promedio de la planta es 0,83.

$$Potencia_{Transformadores} = \frac{635,4 \text{ kW}}{0,83} = 765,5 \text{ kVA}$$

La potencia normalizada de los transformadores de potencia más cercana al valor calculado es 800 kVA, por lo tanto, se elegirán 2 transformadores de **400 kVA, 10 000 V/ 440 V, 60 Hz.**

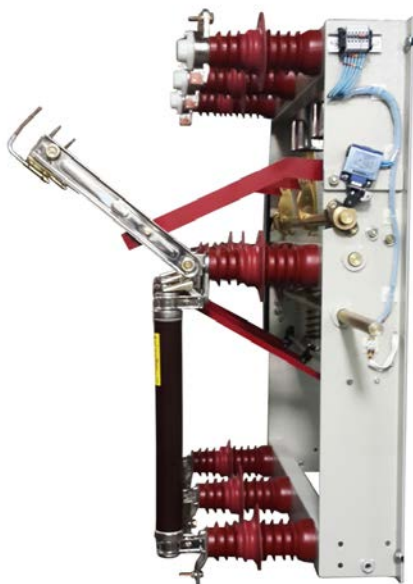
Selección del seccionador de la subestación

El seccionador para el mantenimiento se selecciona de acuerdo a los componentes que normalmente se encuentren en el mercado, de 400 A o 630 A, 12 kV, unipolares o tripolares. Normalmente son unipolares como el mostrado en la figura siguiente.



Fuente FELMEC

Selección de Interruptor general de MT



Seccionador de potencia FELMEC
Modelo SPaIB

Se seleccionara un seccionador de potencia como el mostrado, para ello se requiere conocer la potencia de cortocircuito de la instalación, la cual debe ser solicitada a la distribuidora que alimentará a la instalación. Por lo general, el valor se encuentra entre 250 MVA y 300 MVA para redes de distribución de 10 kV. En este caso se considerará una potencia de cortocircuito $P_{cc} = 250 \text{ MVA}$

Calculo de la corriente de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{250 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 14,43 \text{ kA}$$

$$I_{cc} = 14,43 \text{ A} \leq I_{\text{corta duración seccionador}} = 16 \text{ kA}$$

La corriente nominal I_n

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{800 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 46,2 \text{ A}$$

La corriente de diseño I_d es

$$I_{\text{diseño}} = I_d = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 46,2 \text{ A} = 57,8 \text{ A}$$

$$I_{\text{diseño}} = 57,8 \text{ A} \leq I_{\text{nominal del seccionador}} = 400 \text{ A}$$

Los valores normalizados más cercanos del seccionador de potencia son 400 A, 16 kA, 12 kV y con un relé térmico adicional para la regulación y protección por sobrecarga, si no se instala el relé térmico la protección sería solo contra el cortocircuito.

Selección de fusibles de protección en MT del Transformador

Los fusibles que protegen los transformadores en MT son de tipo CF o CEF de la norma DIN que cumplen con la norma IEC 60282-1, con tensiones de hasta 36 kV.

- U_n : Tensión nominal. Es la tensión de servicio entre fases más elevada de la red sobre la que podrá ser instalado el fusible.
- I_n : Intensidad nominal. Es el valor de la intensidad que el fusible puede soportar permanentemente sin calentamientos anormales (generalmente 65 K para los contactos)
- I_3 : Intensidad de corte mínima. Es el valor mínimo de corriente que provoca la fusión y corte del fusible (La fusión no es condición suficiente para interrumpir el paso de corriente. Para valores inferiores a I_3 puede fundir, pero no cortar, por ello es imprescindible evitar la sollicitación de un fusible entre I_n e I_3).
- I_1 : Intensidad de corte nominal. Es la corriente prevista de falla máxima que el fusible puede interrumpir. Se debe asegurar que la intensidad de cortocircuito de la red en ese punto sea igual o inferior a la I_1 del fusible utilizado.

Las condiciones de servicio del fusible, según las condiciones normales de la IEC 60282-1 son:

- Temperatura ambiente máxima de 40°C y mínima de -25°C siendo el valor medio medido en 24h, inferior a 35°C.
- Altitud inferior a 1000 m.
- El ambiente no debe estar excesivamente o anormalmente contaminado con polvo, humo, gas corrosivo o inflamable, vapor o sal.
- La temperatura debida a la radiación solar no debe exceder al equivalente de 80°C en un cuerpo negro.
- Velocidad del viento inferior a 34 m/s.

Los fusibles para protección del transformador se seleccionan de acuerdo a la tabla dada por los fabricantes, Los calibres de los fusibles seleccionados son para instalaciones al aire libre, con sobrecargas del transformador del 30%. Aunque los calibres en negrita son los más apropiados, los demás también protegen a los transformadores de forma adecuada.

En este caso, los fusibles para protección de los transformadores de 400 kVA se obtienen de la siguiente tabla de Schneider para fusibles Fusearc CF (puede usarse la tabla de selección que proporcione el fabricante del fusible ABB, BUSSMAN, etc)

Fusarc CF fuses DIN standard for transformer protection (rating in A) ^{(1) (2) (3)}

Operating voltage (kV)	Rated voltage (kV)	Transformer power (kVA)																	
		25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	
3	7.2	16	25	31.5	40	50	63	63	80										
		20	31.5	40	50	63	80	80	100	100	125	125	160	200	250				
		25	40	50	63	80	100	100		125	160	160							
5	7.2	16	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
		20	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250					
		25	40	50	63	80	100	100		125	160	160							
6	7.2	16	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
		20	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250					
		25	40	50	63	80	100	100		125	160	160							
6.6	7.2	16	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
		20	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250					
		25	40	50	63	80	100	100		125	160	160							
10	12	16	25	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250				
		20	31.5	40	50	63	80	100	100	125	125	160	200	250					
		25	40	50	63	80	100	100		125	160	160							

Tensión nominal del fusible hasta 12 kV (se suele expresar como 6/12 kV)
Tensión de operación del transformador 10 kV

Corriente nominal del fusible del transformador de 400 kVA, 63 A
Corriente nominal fusible del seccionador para 800 kVA

Los valores recomendados pueden variar entre los fabricantes de fusibles debido a las curvas de respuesta propias de cada fabricante.

En el caso del fusible de protección contra el cortocircuito del Seccionador de potencia se obtiene de la misma tabla, 80 A

Selección del Interruptor de protección de BT del transformador

Se debe determinar la corriente nominal del transformador I_n y la corriente de diseño I_d involucrada

$$I_{nt} = \frac{P_{nt}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0,44 \text{ kV}} = 524,9 \text{ A}$$





$$I_d = 1,25 \times I_n = 1,25 \times 524,9 \text{ A} = 656,1 \text{ A}$$

La corriente de cortocircuito en BT se calcula suponiendo que la máxima potencia que puede entregar el transformador es la nominal a la tensión de cortocircuito por la siguiente expresión:




$$I_{cc} = \frac{P_{nt}}{\sqrt{3} \times U_{cc}} = \frac{P_{nt}}{\sqrt{3} \times 4,5 \% \times U_n} = \frac{400 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 4,5 \% \times 440 \text{ V}} = 11,66 \text{ kA}$$

Los interruptores de BT serán según IEC 60947-2 de 800 A (> 656,1 A), 690 V (> 440 V), 50 kA a 440 V. Han sido seleccionados del catálogo de Interruptores MEGATIKER cuya imagen se muestra en la figura siguiente.

Datos técnicos interruptores termomagnético MEGATIKER





Interruptor	MA125	ME125B/N	ME160B/N	ME250/N
				
Nº polos	3	3	3	3
Características eléctricas (CEI EN 60947-2)				
Corriente de intervención nominal I_n (A) a 40°C	125	125	160	250
Tensión nominal U_e (V a.c. a 50-60Hz)	500	500	500	500
Tensión nominal U_e (V d.c.)	250	250	250	250
Tensión nominal de aislamiento U_i (V a.c.)	500	500	500	500
Tensión nominal de impulso U_{imp} (kV)	6	6	6	6
Categoría de utilización	A	A	A	A
Corriente nominal I_n (A)	16 25 40 63 100 125	16 25 40 63 100 125	100 160	250
Nivel de prestación	A	B	B	N
Poder de corte extremo I_{cu} (kA)	230V a.c. 600V a.c. 840V a.c. 500V a.c. 690V a.c.	22 16 10 8	35 25 18 12	40 25 20 12
Poder de intervención de servicio I_{cs} (kA)	250V d.c.* 100	25 50	25 100 75	36 75




Cortesía BTicino

MA/ML250	MA/ML400	MA/ML630MT
		
3	3	3
250	400	630
690	690	690
250	250	250
690	690	690
8	8	8
A	A	A
500	800	
320	630	
400		
500		
630		
A	A	A
60	60	60
36	36	36
30	30	30
25	25	25
20	20	20
16	16	16
36	36	36
100	100	100

En la página siguiente se presenta la figura con caracteres mas definidos.

Datos técnicos interruptores termomagnético MEGATIKER

Interruptor		MA125		ME125B/N		ME160B/N		ME250/N	
									
Nº polos		3		3		3		3	
Características eléctricas (CEI EN 60947-2)									
Corriente de intervención nominal I _n (A) a 40°C		125		125		160		250	
Tensión nominal U _e (V a.c. a 50-60Hz)		500		500		500		500	
Tensión nominal U _i (V d.c.)		350		350		350		350	
Tensión nominal de aislamiento U _i (V a.c.)		500		500		500		500	
Tensión nominal de impulso U _{imp} (kV)		6		6		6		6	
Categoría de utilización		A		A		A		A	
Corriente nominal I _n (A)		16		16		25		250	
		25		25					
		40		40					
		63		63					
		100		100		100			
		125		125		160			
Nivel de prestación		A		B		B		N	
Poder de corte extremo I _{cu} (kA)		230V a.c. 400V a.c. 16		22 35 25		40 50 25		50 50 36	
		400V a.c. 10		18		20		25	
		500V a.c. 8		12		10		12	
		600V a.c.							
		690V a.c.							
Poder de interrupción de servicio I _{cs} (kA)		16		25		25		36	
		100		50		100		75	

MA/ML250		MA/ML400		MA/ML630MT	
					
3		3		3	
250		400		630	
690		690		690	
250		250		250	
690		690		690	
8		8		8	
A		A		A	
500		500		800	
320		320		630	
250		400			
		500			
		630			
A		A		A	
60		60		60	
36		36		36	
30		30		30	
25		25		25	
20		20		20	
16		16		16	
36		36		36	
100		100		100	