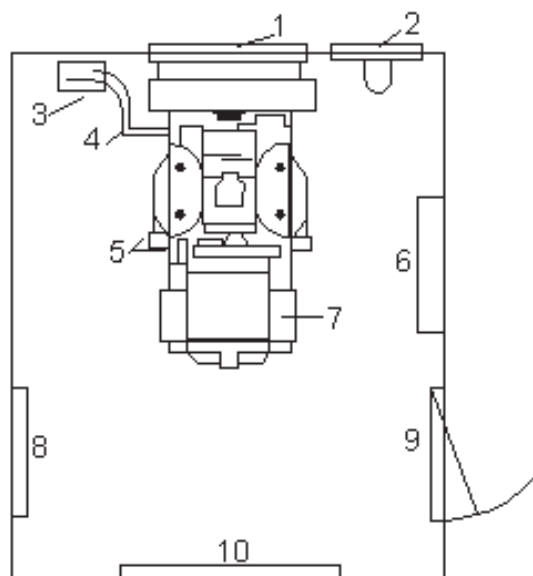
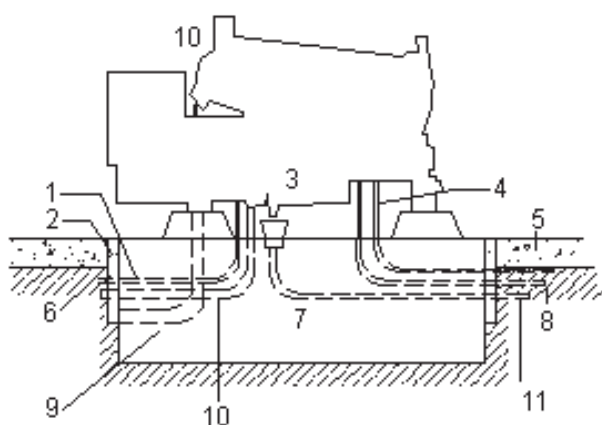


El rotor del generador está soportado en la estructura del generador por sistema de balinera (ahorra costo y espacio) o por sistema de 2 polimesas (tiene una soportando cada extremo del rotor, propiamente centrado el rotor en el estator). El eje del rotor es conectado al volante del motor por un sistema de acople flexible. El tipo de chumacera simple tiene una balinera soportando la parte trasera final del rotor y el opuesto unido al volante del motor a través de un disco flexible de acople, lo que hace necesario un alineamiento motor generador de tal manera que el rotor quede perfectamente centrado en el estator. Cuando el rotor es muy pesado es recomendable utilizar únicamente el sistema de 2 chumaceras.



1. Descarga de aire del radiador.
2. Salida opcional del ventilador.
3. Batería.
4. Cable de batería.
5. Salida de escape.
6. Instrumentación, transferencia y tablero control automático.
7. Distancia requerida a tener en cuenta para facilitar apertura de puerta del tablero.
8. Entrada opcional al aire.
9. Puerta.
10. Ventilador.

FIGURA 11.19. Disposición adecuada para ventilación y circulación de aire.



1. Alarma de seguridad y línea de control.
2. Material aislante.
3. Válvula de drenaje aceite.
4. Conexiones flexibles combustibles.
5. Piso de concreto.
6. Tierra.
7. Base.
8. Línea de alimentación combustible y retorno.
9. Tubería para cables generador.
10. Tubería para sistema arranque eléctrico.
11. Línea drenaje bastidor a tanque externo.

FIGURA 11.20. Disposición para líneas de agua y combustible conductores eléctricos y drenaje de aceite.

11.0.1 Capacidad del grupo eléctrico.

Para determinar la capacidad óptima tanto en eficiencia como en economía que determine el tamaño del motor y del generador, y las características de los reguladores de voltaje y velocidad es necesario determinar adecuadamente la siguiente información :

- Aplicación del equipo. Suplencia o stand by en este caso.
- Pico de la carga en kW (teniendo en cuenta el efecto del arranque de motores. La regla práctica para determinar el exceso de kW en el arranque de un motor es 0.5 KW por kVA de arranque).
- Factor de potencia de la carga.
- Voltaje y fases (1ϕ o 3ϕ , 208, 240, 260, 440, 480 V).
- Condiciones ambientales (temperatura, altitud, humedad, etc.).
- Límite de variación de frecuencia y respuesta a transitorios de carga.
- Límite de caída de voltaje y tiempo de respuesta.
- Lista de tamaños de motores y características de arranque.
- Información de la carga que entra a la planta cuando cualquier motor grande es arrancado.

11.0.2 Normas de montaje e instalación de grupos generador diesel eléctricos.

Conocidas las características del equipo de emergencia y sus accesorios, es necesario programar su montaje e instalación teniendo en cuenta los costos de tales actividades con base en los siguientes factores:

11.0.2.1 Espacio requerido y localización del grupo generador.

El grupo puede estar localizado en el primer piso, en el sótano o en una caseta separada por economía y para conveniencia de los operadores lo más cerca posible de la subestación. La sala de equipos deberá ser lo suficientemente grande de tal manera que se pueda proveer adecuada circulación de aire y espacio de trabajo alrededor motor y generador. Además, espacio para la instalación de tableros de control, transferencia, baterías y cargador, cárcamos de cables y tuberías de combustible y gases de escape.

Con base en la práctica, la disposición de grupos generadores diesel en una sala deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Bases aisladas para evitar la transmisión de vibraciones.
2. Distancia entre grupos (en caso de haber más de uno: 2 m como mínimo).
3. Distancia mínima a la pared: 1,5 m.
4. Distancia al techo: mínimo 2 m desde el acople de escape.
5. Radiador lo más cerca posible a la pared para desalojar aire caliente al exterior a través de ventana.
6. Tener en cuenta el control de entrada de aguas lluvias al conjunto.
7. En la base del motor dejar cárcamos para desagüe, de agua, aceite y ACPM.
8. Dejar cárcamos con tapa adecuados para salida del tablero del generador al tablero de distribución o a la transferencia.
9. La distancia mínima de la pared al tablero de control deberá ser de 0,6 m para tableros de instalar en el piso.
10. La salida de gases de escape deberá orientarse en la dirección del viento para evitar contraposiciones en el motor.
11. Dejar espacio para colocar baterías y cargador cerca del motor de arranque.

12. Es recomendable que la parte superior de las paredes de la sala de equipos, sea construida en calados para mejorar la ventilación del área y por ende la temperatura ambiente.
13. Se debe dejar en la sala de equipos ventanales grandes.
14. Cuando la ventilación y circulación de aire no sea la adecuada se debe disponer de ventilador de entrada y extractor en el salón.
15. La tubería de escape debe salir rápidamente de la sala.
16. En el salón de equipo se debe disponer de herramienta básica, extinguidores con CO₂ y espuma química, agua y luz.
17. Se debe disponer de tanque de combustible diario y de almacenamiento. El diario al lado del motor que haga llegar el ACPM por gravedad y el de almacenamiento se debe disponer fuera de la sala de equipos en lo posible.

Las figuras 11.18, 11.19 y 11.20 ilustran ampliamente los aspectos expuestos.

11.6.4.2 Soporte del conjunto - bases

Las bases cumplen 3 funciones importantes:

- Soportar el peso del grupo electrógeno.
- Mantener nivelación y alineación correcta del conjunto motor- generador y accesorios.
- Aislar las vibraciones producidas.

TIPOS DE BASES

La figura 11.21 muestra diferentes tipos de bases, se debe considerar además el peso del motor y la utilización depende de la localización y aplicación del grupo.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para calcular el espesor de las bases se debe tener en cuenta: el peso del motor, el peso del generador, el peso de todos los líquidos refrigerantes, aceites y combustibles.

Se determina la presión total del conjunto generador dividiendo el peso total del grupo por el área total de los patines o soportes.

- a) El concreto de la base será de 3000 psi. Mezcla 1:2:3 (cemento, arena, gravilla).
- b) El concreto de los pernos de anclaje será 1:1:1 para un concreto de 3500 a 4000 psi.
- c) El tiempo normal del fraguado para la base es de 28 días, se puede disminuir este tiempo usando acelerantes químicos. Remojar diariamente durante este tiempo.
- d) La longitud y el ancho de la base será mínimo de 30 cm mayor que el largo y el ancho del grupo motor generador.
- e) Al hacer la base se deben introducir las formaletas para los pernos de anclaje. Cuando se instale el motor se rellenan estos espacios colocando el perno respectivo (en forma de L, Y o T). Las tuercas del perno deben sobresalir inicialmente un hilo de rosca y el ajuste final se le debe dar una vez se haya nivelado el grupo (Véase figura 11.22).
- f) Como herramientas de nivelación se debe usar un flexómetro y un nivel de precisión de doble gota para nivelación horizontal y transversal del grupo (grupos de 2 rodamientos). El generador con un rodamiento y acople flexible es alineado en fábrica.

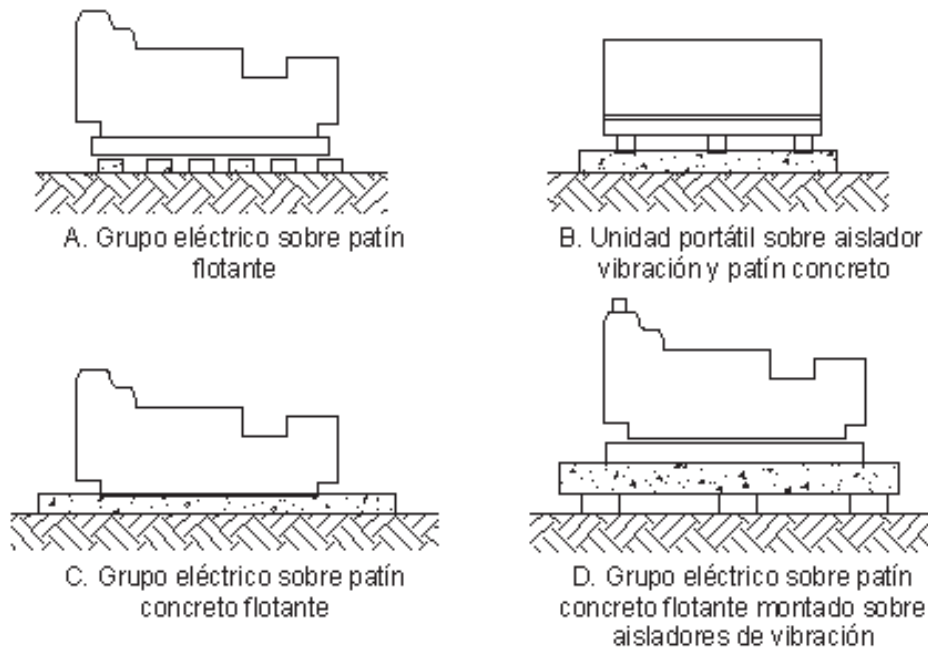
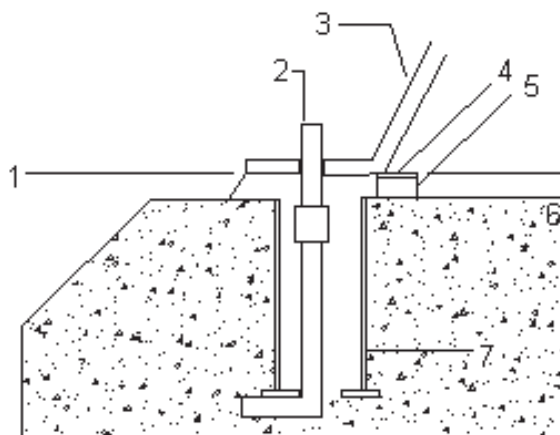


FIGURA 11.21. Tipos de bases para plantas de emergencia.



1. Lechada o grounding.
2. Perno de anclaje, tuerca y arandela.
3. Base del motor.
4. Arandela para nivelación.
5. Bloque espaciador.
6. Espesor de la lechada.
7. Camisa

Nota: el espaciador y arandelas deberán ser montadas a través de cada base de perno de anclaje para nivelación y alineamiento del grupo.

FIGURA 11.22. Anclaje del grupo eléctrico.

- h) Después de completarse la instalación del grupo eléctrico sobre la bases debe arrancarse la unidad y probar de 20 a 30 horas, lo que permitirá inspeccionar las bases y condiciones de operación de la unidad.
- i) Después de este período inicial, el alineamiento deberá ser chequeado nuevamente.

11.6.4.3 Vibraciones.

Las vibraciones producidas por la máquina deben aislarse pues pueden ocasionar daños a la base, al mismo equipo y sus sistemas de combustible y escape, a otros equipos de control y medida dentro del área de la sala de equipos.

Las técnicas de aislamiento de vibraciones en el caso de plantas de emergencia de baja capacidad montadas sobre bastidor de acero, utilizan varios tipos de aisladores de vibración, siendo los de resorte de acero y caucho los más comunes (ver figuras 11.23 y 11.24).

Estos aisladores no solamente amortiguan vibraciones sino que también reducen el nivel de ruido de éstas.

El peso, la velocidad de operación de la unidad y el número de cilindros afecta el tipo de dureza de los aisladores. Debe tenerse en cuenta que la carga sobre los mismos es torsional pues no absorben empuje lateral.

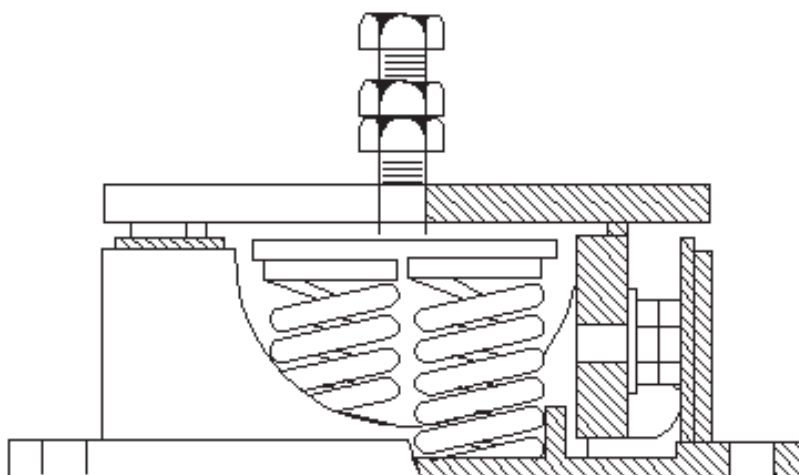


FIGURA 11.23. Aislador de vibración de resorte de acero.

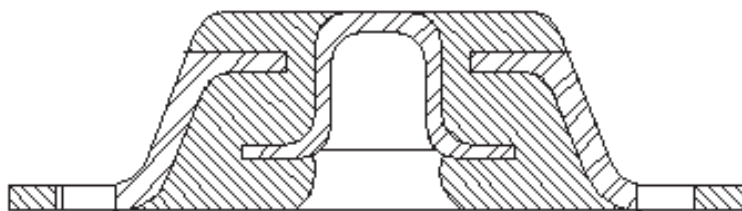
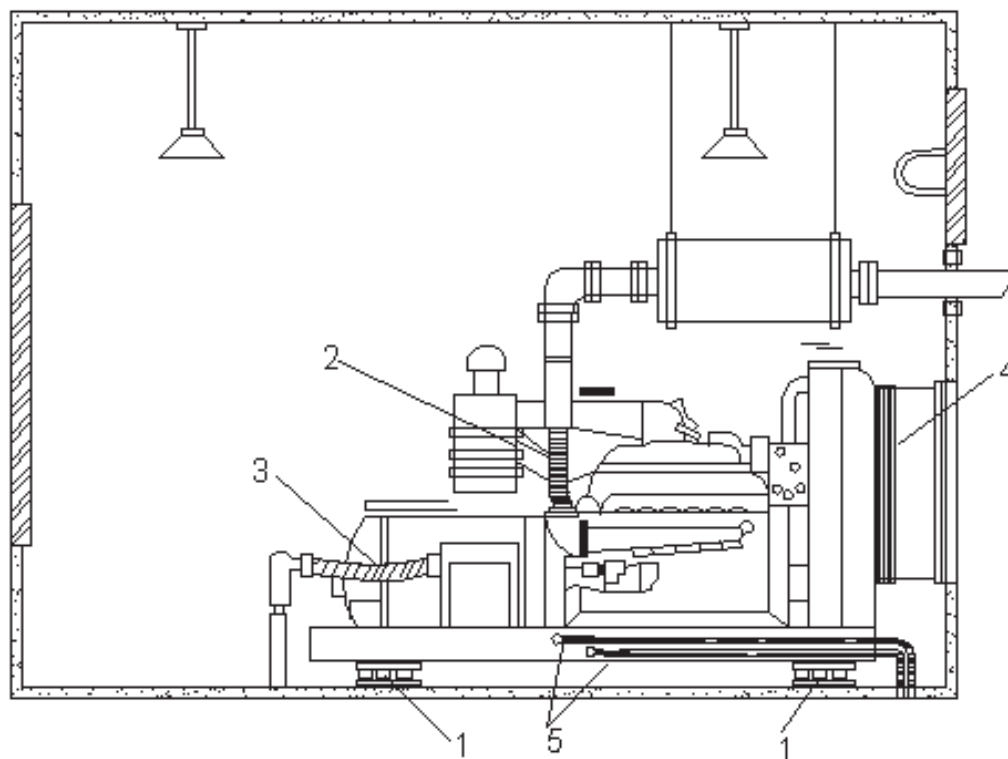


FIGURA 11.24. Aislador de vibración de caucho.

Otros aspectos de vibración presentados en los motores son disminuidos o minimizados con conexiones flexibles entre el motor y las líneas de combustible, escape, descarga del radiador, cables para instalaciones eléctricas y otros sistemas conectados al grupo (ver figura 11.25).



1. Aisladores de vibración.
2. Acople flexible del escape.
3. Conduit flexible (coraza).
4. Ducto flexible salida del radiador.
5. Líneas flexibles entrada y retorno de combustible.

FIGURA 11.25. Reducción de vibraciones.

11.6.4.4 Ventilación.

Cualquier motor de combustión interna necesita de aire limpio tanto para combustión como para enfriamiento. El grupo eléctrico produce calor por radiación lo que contribuye a elevar la temperatura del aire de la sala de máquinas, por lo que es importante una ventilación adecuada y disponer de un volumen apropiado de aire para el motor.

Cuando el motor es enfriado por un radiador, el ventilador debe hacer circular suficiente cantidad de aire a través del panel del radiador para mantener la temperatura adecuada del agua de refrigeración. La sala de máquinas debe tener un tamaño suficiente para permitir la libre circulación de aire para que la temperatura está equilibrada y no exista estancamiento de aire.

Si hay 2 o más grupos eléctricos, evitar localizarlos de tal manera que el aire caliente del radiador de un grupo fluya hacia la entrada del otro motor. En instalaciones con poca ventilación se recomienda montar un ventilador.

En salones pequeños deben utilizarse ductos para tomar el aire de la atmósfera y llevarlo directamente al motor. Deberá también montarse un ventilador de salida sobre el lado opuesto para extraer así el aire caliente.

11.6.4.5 Tubería de escape del motor y aislamiento.

El sistema de escape del motor deberá dirigirse a la parte exterior de la sala de máquinas a través de un diseño apropiado que no ocasione contrapresiones excesivas, en el motor un silenciador de escape deberá incluirse en la tubería.

Cada componente del sistema de escape localizado dentro de la sala de máquinas podrá ser aislado para reducir el calor producido por radiación.

Para lograr una instalación económica y operación eficiente, la instalación del motor deberá hacerse con tuberías de escape tan cortas como sea posible y un mínimo de codos. Una conexión flexible entre el múltiple de escape y la tubería deberá ser usada para amortiguar vibraciones debidas a la expansión térmica de los gases de escape. En el caso de motores turbo cargados deberá utilizarse conexión flexible entre la carcasa de salida de gases del turbo cargador y la tubería de escape.

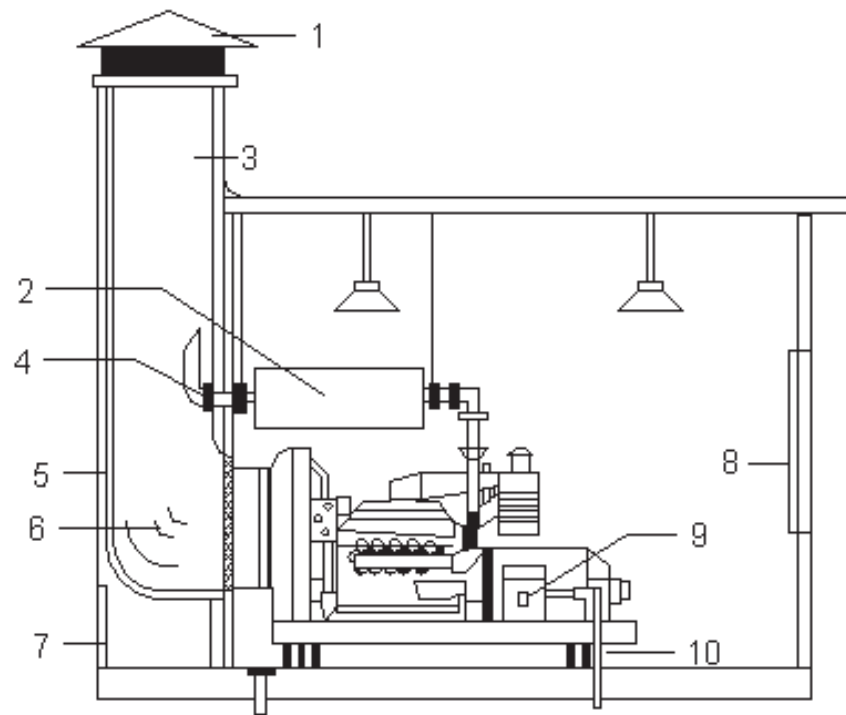
De acuerdo a las necesidades y área disponible se podrán lograr diferentes tipos de diseño como se muestra en las figuras 11.26 y 11.27.

A continuación se analizan en detalle algunos factores de importancia que deben ser tenidos en cuenta para la instalación del sistema de escape.

- a) El sistema de tubería de escape dentro de la sala de máquinas debe ser cubierto en materiales aislantes (asbesto, fibra de vidrio) para proteger el personal y reducir la temperatura en el salón y de paso disminuir el ruido producido en la sala de máquinas.
- b) Restricciones mínimas de flujo de gases. Es esencial minimizar la contrapresión de los gases de escape. Una excesiva contrapresión afecta la potencia del motor y el consumo de combustible.

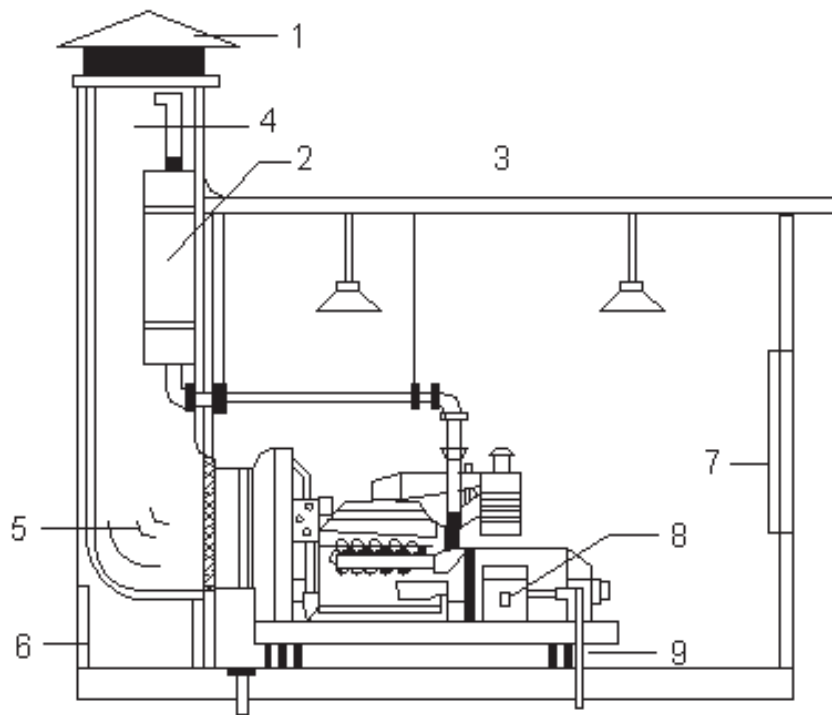
Los factores que pueden ocasionar alta contrapresión son:

- Diámetro de tubería de escape demasiado pequeño.
 - Tubería de escape demasiado larga.
 - Ángulos fuertes en tubería de escape.
 - Restricciones en el silenciador de escape.
 - Todo esto puede ser calculado para asegurar un diseño adecuado.
- c) Silenciadores de escape. En muchos sitios es necesario disminuir el ruido producido usando silenciadores y para su selección se debe tener en cuenta la contrapresión ocasionada y el nivel de ruido aceptable en el sitio.



1. Cubierta opcional.
2. Silenciador.
3. Chimenea de aire.
4. Flange y junta expansión.
5. Material acústico opcional.
6. Aletas para dirigir el aire.
7. Puertas de acceso.
8. Rejillas entrada de aire.
9. Interruptor general.
10. Tubería, cables, salida.

FIGURA 11.26. Montaje del silenciador, tubería de escape y descarga del aire radiador en ducto común.



1. Cubierta opcional.
2. Silenciador.
3. Material acústico.
4. Chimenea aire.
5. Aletas para dirigir aire.
6. Puerta acceso.
7. Rejilla entrada aire.
8. Interruptor general.
9. Tubería cables potencia.

FIGURA 11.27. Descarga del aire del radiador en ducto donde está el silenciador de escape.

11.6.4.6 Enfriamiento del motor.

Para efectuar un balance general de la energía calorífica en el motor diesel se consideran los siguientes aspectos: El 30% del poder calorífico del combustible consumido por un motor de combustión interna es recuperable como potencia en el eje de salida, 30% en el escape, 30% se pierde en enfriamiento de agua y aceite y 10% se pierde por radiación. Estos datos son tenidos en cuenta para el diseño del sistema de refrigeración de un motor.

Sin embargo, el 30% del calor que se pierde en el escape puede ser recuperado a través de turbo cargadores.

La energía calorífica de un motor también depende de otros factores como:

- Tipo de aspiración: natural o turbo cargado.
- El tipo de múltiple de escape.
- Condiciones de operación del motor : velocidad y factor de carga.
- Uso de enfriador de aceite.
- Condiciones mecánicas del motor.
- Condiciones de instalación (restricciones de entrada de aire y escape).

Para el diseño apropiado del sistema de refrigeración de un motor es importante como primer paso conocer su principio de funcionamiento.

a) SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El tipo de sistema de refrigeración a seleccionar dependerá de las limitaciones físicas de instalación, disponibilidad y localización de agua y aire de enfriamiento. Los sistemas más usuales de enfriamiento son:

- Radiador y enfriador por aceite.
- Torre de enfriamiento (circuito cerrado por intercambiador y circuito abierto).

Interesa para el caso analizar la refrigeración por radiador que es el método más usado para enfriar grupos eléctricos. El agua caliente del motor fluye a los paneles del radiador donde es enfriado por el aire producido por un ventilador regresando luego al motor por medio de una bomba. Este ventilador representa una carga parásita de cerca del 4 - 8% sobre la potencia bruta del motor. Los radiadores pueden ser instalados junto al motor o en un lugar remoto.

b) CONDICIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

La cantidad de agua que debe circular a través de un motor para asegurar un enfriamiento adecuado es determinada por la rata a la cual el motor transfiere calor de las camisas al agua y por la elevación de la temperatura permisible.

La elevación de temperatura a través del bloque no deberá exceder de 15 °F con el motor a plena carga.

11.6.4.7 Sistema de combustible.

Esta compuesto por los siguientes elementos:

a) TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

El tanque de almacenamiento de combustible deberá estar localizado lo más cerca posibles del grupo eléctrico, fuera de la sala de máquinas.

Los tanques de combustible son usualmente fabricados de aluminio, acero inoxidable, hierro negro, o chapa de acero soldado. Nunca podrá fabricarse de acero galvanizado debido a que el combustible reacciona químicamente con el recubrimiento de galvanizado ocasionando obstrucciones al sistema.

Las conexiones para líneas de succión y retorno de combustible deberán estar separadas para prevenir recirculación de combustible caliente y permitir separación de los gases en el combustible.

El tanque deberá estar equipado con un tapón de drenaje para permitir renovación periódica de agua condensada y sedimentos. El orificio para llenado deberá instalarse en la parte superior con una malla para prevenir entrada de materiales extraños al tanque.

b) TANQUE DE SUMINISTRO DIARIO

Este deberá estar localizado lo más cerca posible del motor para minimizar las pérdidas a la entrada de la bomba de transferencia.

Para un arranque rápido de la unidad, el nivel de combustible está por debajo de la entrada de la bomba, una válvula cheque instalada en la línea de succión evita el retorno para aislar el combustible del tanque durante períodos de fuera de servicio.

Si se hace indispensable instalar el tanque a un nivel mayor de los inyectores, se instalarán válvulas en las líneas de succión y retorno para aislar el combustible del motor.

Una bomba auxiliar llevará el combustible del tanque de almacenamiento al tanque diario y la bomba de transferencia del motor llevará el combustible del tanque diario al sistema de inyección.

La capacidad del tanque diario se tomará en base al consumo de la unidad en galón / hora dado por el fabricante y a las horas de servicio promedio diarias.

11.6.4.8 Sistemas eléctricos

Es conveniente dejar los cárcamos apropiados para llevar los conductores hasta el tablero de la transferencia o el de distribución general de la subestación.

Además debe calcularse adecuadamente el calibre de los conductores.

De acuerdo con las condiciones de la carga de emergencia deberá definirse la necesidad de transferencia manual o automática. En general, dependiendo de si el tablero de la planta va sobre el generador o aparte y si incluye o no la transferencia, es necesario prever la facilidad de conexión desde el tablero de distribución al tablero de distribución de la subestación en baja tensión.

11.6.4.9 Dimensiones de la sala de máquinas.

En la tabla 11.3 se muestran las dimensiones mínimas del salón donde se instalará el grupo.

TABLA 11.3. Dimensiones de la sala de máquinas.

Potencia del grupo	20 - 60 kVA	100 -200 kVA	250 - 550 kVA	650 - 1000 kVa
Largo	5.0 m	6.0 m	7.0 m	10.0 m
Ancho	4.0 m	4.5 m	5.0 m	5.0 m
Altura	3.0 m	3.5 m	4.0 m	4.0 m
Ancho puerta de acceso	1.5 m	1.5 m	2.2 m	2.2 m
Altura puerta de acceso	2.0 m	2.0 m	2.0 m	2.0 m

11.7 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DE UNA SUBESTACIÓN

11.7.1 Pararrayos.

Los pararrayos son los dispositivos que protegen contra sobretensiones de origen interno y externo. La función de este elemento es limitar la tensión que puede aparecer en los bornes del sistema a proteger enviando a tierra las sobretensiones.

Las causas de las sobretensiones se describen en el capítulo 13.

En redes de distribución se utilizarán pararrayos autovalvulares que pueden ser de carburo de silicio y / o óxido de zinc.

Para la protección adecuada de ellos se requiere:

- Instalarlo lo más cerca posible al equipo o red a proteger.
- Mantener resistencias de puesta a tierra dentro de valores apropiados.
- Pararrayos con características de voltaje y corriente de descarga apropiados.

Los diferentes tipos, la construcción y el proceso de selección de los pararrayos para sistemas de distribución se describen detalladamente en el capítulo 13.

En la tabla 11.4 se muestran las características de los pararrayos autovalvulares de carburo de silicio, muy empleados en la mayoría de los sistemas existentes. Hoy se están instalando de ZnO.

TABLA 11.4. Características del parrayos autoválvula

Tensión nominal	kV	3	6	8	10	12	12	15	20	30
Tensión de extinción (1) (Tensión máxima con la frecuencia de servicio admisible permanentemente en el descargador)	kV	3.6	7.2	9.6	12	14.4	14.4	18	24	38
Tensión alterna de reacción (2)	kV _{ef}	6.9 a 7.5	13.8 a 15	18.4 a 20	23 a 25	27.6 a 30	27.6 a 30	34.5 a 37.5	48 a 50	50 a 52
Tensión de choque de reacción de máximo admisible (3)	kV _{max}	13	27	35	40	48	48	60	80	85
Tensión de choque de reacción del frente de la onda (0.5 μ s) valor cresta (4)	kV _{max}	15	31	40	50	60	60	74	95	100
Intensidad nominal de choque de descarga 8/20 μ s	kA	5	5	5	5	5	5	5	5	10
Intensidad máxima de choque 5/10 μ s	kA	65	65	65	65	65	65	65	65	100
Intensidad de choque de descarga de onda larga con una duración de la onda de 1000 μ s	A	100	100	100	100	100	100	100	100	150
Valores máximos de la tensión residual (5) con una intensidad de choque de descarga.										
8/20 5 kA	kV _{max}	11.4	24	32	40	47	47	61	85	92
8/20 10 kA	kV _{max}	12.6	25.2	33.6	42	50	50	63	88	100
Resistencia a la corriente de cortocircuito 0.4 s (6) (en caso de montaje con abrazadera de fijación)	kV _{ef}	6	6	6	6	6	6	3	3	3
Campo de efectividad del dispositivo de seguridad contra sobrepresión hasta	kA	20	20	20	20	20	20	10	10	10
Nivel de aislamiento del cuerpo de porcelanas.										
Tensión de choque soportable 1/50	kV	85	85	115	115	115	85	170	170	200
Tensión de alterna soportable a 50 Hz.										
ambiente seco	kV _{ef}	50	50	65	65	65	50	100	100	100
bajo lluvia	kV _{ef}	24	24	29	29	29	24	51	51	51
Calibre de conexión										
Fijación por abrazadera										cable de cobre min. 16 mm ² (AWG 4)
										cable de aluminio min. 25 mm ² (AWG 2)
Fijación por pinza de suspensión										cable de 50 a 120 mm ² (AWG a MCM 250)

* Con porcelana corta de 30 mm

1. **Tensión de extinción** (es la tensión máxima a la frecuencia de servicio en el descargador a la cual puede interrumpir este una intensidad de corriente igual a la que fluye por él a la frecuencia nominal. Cuando, después de iniciarse la descarga, baja la tensión hasta el valor correspondiente a la tensión nominal).
2. **Tensión alterna de reacción** de un descargador es la tensión de cresta dividida por $\sqrt{2}$ a la cual al elevarse una tensión alterna de frecuencia nominal se inicia la descarga.
3. **100 % Tensión de choque de reacción** de un descargador es el valor de cresta de la tensión de choque mínima, la cual origina siempre (con cualquier tipo de frecuencia onda de tensión) una descarga.
4. **Tensión de choque de reacción** del frente de onda de $0.5 \mu s$ es el valor de cresta de una tensión de choque con la cual el tiempo que transcurre entre el comienzo nominal de la tensión de choque y el instante en que inicia la descarga es de $0.5 \mu s$.
5. **Tensión residual** es el valor máximo de la tensión en el descargador durante el paso de corriente.
6. Las corrientes de cortocircuito que circulan después de una sobrecarga del descargador pueden llegar a alcanzar los valores indicados en la tabla sin destruir la envolvente de porcelana. En caso de corrientes de cortocircuito más elevadas se deberá contar con rotura de porcelana.

Es necesario definir la corriente de descarga del pararrayos mediante:

$$I_d = \frac{2BIL - V_r}{Z_o} \text{ kA con } Z_o = \sqrt{L/C} \Omega \quad (11.1)$$

donde:

Z_o = Impedancia característica en Ω .

V_r = Tensión residual del pararrayos.

L = Inductancia del sistema en mH.

C = Capacitancia del sistema en μF .

La eficiencia de protección de los pararrayos disminuye cuando la distancia entre el pararrayos y el equipo a proteger se aumenta. La distancia permitida depende de la tensión residual del pararrayos, de la capacidad del aislamiento objeto de la protección y de la pendiente de la onda.

Para poder asegurar una protección adecuada a los equipos, éstos deben estar localizados dentro de una distancia determinada del pararrayos dada por:

$$L = \frac{BIL - N_p}{2 \text{ de / dt}} \cdot V \quad (11.2)$$

en donde:

L = Distancia máxima de protección m.

BIL = Tensión soportada con impulso tipo rayo kV cresta

V = Velocidad de propagación m / μ seg. (300 m / μ seg)

N_p = Nivel de protección del pararrayos.

de / dt = Pendiente del frente de onda (1000 kV / μ seg).

Considerando lo anterior se deben observar las siguientes recomendaciones

- Los pararrayos deben montarse lo más cerca posible de los aparatos a proteger (de 15 a 20 m).
- Con descargas directas y líneas de transmisión en postes de madera con aisladores no puestos a tierra, la pendiente extrema de la sobretensión puede reducir considerablemente la eficacia de protección del pararrayos. Para evitar tales impactos directos es recomendable hacer una conexión a tierra para las líneas de transmisión y los aisladores.
- Para lograr una protección más efectiva de los equipos todos los conductores de la línea deben tener pararrayos y los conductores de puesta a tierra deben ser lo más cortos posible.
- El conductor que une el pararrayos con tierra debe ser instalado de tal manera que no obstaculice el funcionamiento del seguro de sobrepresión.
- Los pararrayos deben instalarse fuera de las instalaciones eléctricas.
- La bajante a tierra se hará en cable de Cobre Nº 4 AWG: En postes de madera se asegurará este cable con grapas de acero clavadas cada 20 cm. En postes de concreto irá por un tubo conduit amarrado al poste mediante zunchos.
- Para la conexión de los pararrayos a la línea se usarán conductores de cobre Nº 4 o de aluminio Nº 2.

Los pararrayos no necesitan de un mantenimiento especial, debe ser reemplazado cuando haya sido abierto el dispositivo de seguridad por sobrecarga. Se debe inspeccionar después de fuertes tormentas eléctricas.

11.7.2 Cortacircuitos.

El cortacircuito, o caja primaria de fabricación normalizada, ofrece gran flexibilidad de empleo en sistemas de distribución suministrando completa protección contra sobrecargas a un costo mínimo.

Específicamente, el cortacircuitos está hecho para aislar del sistema a un transformador o a un ramal de red primaria obedeciendo a una falla o voluntariamente. Es de fácil operación y sólo se debe observar que no haya obstáculos para su operación.

Dado el uso de materiales anticorrosivos en su fabricación, su trabajo es altamente efectivo en cualquier ambiente resistiendo temperaturas hasta de 55 °C.

En consecuencia el mantenimiento es mínimo y la vida útil bastante grande.

A sus terminales se les puede conectar cables de hilos trenzados desde el Nº 6 hasta el 2 / 0 AWG de Cobre o de Aluminio o de ACSR.

Los cortacircuitos operan satisfactoriamente según normas NEMA, con cualquier tipo de hilos fusible hasta de 100 A.

Al instalar el cortacircuito en la cruceta, el conductor que va a la carga se debe conectar en la parte inferior, dejando el contacto superior para la línea viva y si se quiere también para el pararrayos.

El cortacircuitos, al estar equipado con contactos de alta presión enchapados en plata permite alta conductividad. Estos contactos están contenidos dentro de una horquilla de acero inoxidable con alta capacidad de sujeción que permite una unión fuerte entre la parte fija y el tubo portafusible. La sujeción a la cruceta se hace mediante un sistema de montaje recomendado por las normas EEI-NENA que permiten al aislador de porcelana estar asido por su parte media.

El portafusible está compuesto por un tubo de fibra de vidrio que se sujeta en la parte inferior al aislador por medio de una abrazadera y un mecanismo que permite el libre movimiento cuando ocurre una falla: en la parte superior se encuentra un contacto con un casquete o una tapa, colocado en su extremo sólidamente enroscado. El uso del casquete o de la tapa depende de la magnitud de la corriente por interrumpir.

La tabla 11.5 muestra las características del cortacircuitos empleado en los sistemas de distribución.

El cortacircuitos puede ser accionado por efecto de una falla en el al cual está protegiendo o por medios manuales mediante una pértiga. Cuando la desconexión sea manual es condición indispensable que la carga alimentada esté fuera de servicio aunque la red esté energizada, ya que la caja primaria no está diseñada para interrumpir circuitos bajo carga.

En el momento de ocurrir una falla, el hilo fusible se recalienta a causa de la corriente excesiva que por él circula, fundiéndose cuando la intensidad sea lo suficientemente elevada.

De acuerdo con la intensidad de la corriente se generan gases dentro del tubo de fibra de vidrio debido a un revestimiento interior del tubo, los cuales enfrían el arco y desionizan el interior del tubo interrumpiéndose la corriente rápidamente. Al quemarse el hilo fusible, la parte móvil de la caja primaria se desconecta abruptamente en su parte superior quedando colgada de su parte inferior. Con esto cesa todo contacto entre terminales permitiendo además observar directamente que el cortacircuitos fue accionado.

Cuando se usa casquete renovable, si la falla es muy pronunciada, la expulsión de gases generados se efectúa por los 2 extremos del portafusible compensándose de este modo los momentos de giro producidos que impiden una rotación del cortacircuito sobre la cruceta, evitando al mismo tiempo una fuerte acción sobre el poste. Estas características de funcionamiento hacen que los cortacircuitos con casquete renovable tengan una mayor capacidad de ruptura.

La presión de los gases es afectada entre otros por los siguientes factores:

- a) La magnitud de la corriente de falla.
- b) El factor de potencia de la corriente de falla.
- c) La posición de la onda de voltaje en el momento en que la falla se inicie.
- d) Las condiciones de reposición del voltaje del sistema.
- e) El tamaño del hilo fusible.

Para poner nuevamente en funcionamiento el cortacircuito, se deben cumplir los siguientes pasos:

- a) Quitar el portafusible metiendo un pértiga en el ojo inferior, levantándolo luego del porta contacto inferior.
- b) Cambiar el hilo fusible y el casquete superior si fuese necesario. Al cambiarle se debe tensionar y amarrar fuertemente al tornillo mariposa que se encuentra en el mecanismo inferior del portafusible.
- c) Colgar el portafusible en la pértiga por el ojo inferior y luego instalarlo en el porta contacto inferior, presionar con la pértiga por el ojo superior para un encajamiento en el porta contacto correspondiente.

TABLA 11.5. Datos técnicos del cortacircuitos para 15 kV y 38 kV - 100 A.

Tipo	13.8 - 100	15 - 100	38 - 100
Tensión nominal kV	13.8	15	38
Tensión máxima de diseño kV	15	15	38
Corriente nominal continua A	100	100	100
Capacidad de interrupción (con casquete sólido A asimétrico RMS)	5000	4000	2000
Prueba de impulso (1,2 / 50 μ seg.) BIL	95 kVp	110 kVp	150 kVp
Prueba de baja frecuencia 60 Hz - RMS			
En seco (1 minuto) kV	50	60	70
Húmedo (10 segundos) kV	35	42	60
Longitud de aislamiento cm	23.5	28.57	51.43
Peso neto Kg.	9	9.75	19

11.7.3 Hilos fusible.

Uno de los problemas a los que se ve enfrentado el personal de operaciones de cualquier empresa electrificadora es la selección del fusible adecuado para la protección de transformadores de distribución considerando que el fusible debe brindar protección contra corrientes de cortocircuito, de sobrecarga y de corrientes transitorias (conexión y arranque) se presentarán las reglas básicas y prácticas con el fin de garantizar una correcta selección de los mismos, para niveles de tensión menores o iguales a 34,5 kV.

El fusible es un elemento térmicamente débil cuya función principal es la de aislar un equipo cuando una corriente de falla o sobrecarga pasa a través de él.

En el capítulo 12 se discute ampliamente todo lo relativo a los fusibles.

11.7.4 Seccionador tripolar para operación sin carga.

El seccionador para operación sin carga es apropiado para:

1. Interrumpir y cerrar circuitos de corriente cuando se quiere desconectar o conectar circuitos de corrientes pequeñas y despreciables; por ejemplo, aquellas que se originan por efectos capacitivos en pasamuros, barras colectoras, cables muy cortos y en los transformadores de tensión, o cuando no existe una diferencia de tensión digna de mención en circuitos a interrumpir o conectarse; por ejemplo, en una conmutación sobre barras colectoras conectadas en paralelo pero con capacidad diferente.
2. Distancias de protección en estado abierto; estas son espacios con un cierto potencial de aislamiento dentro de las fases abiertas de un interruptor y sirven para la protección del personal y de la instalación y por lo tanto, deben cumplir condiciones especiales.

Las distancias de interrupción deben ser apreciables cuando el interruptor está desconectado.

El seccionador para operación sin carga está previsto para accionamiento manual por medio de pértiga, u otro accionamiento mecánico. Los seccionadores son aptos para instalación interior. Sin embargo, para su ejecución y el uso de aisladores acanalados de resina colada, ellos pueden ser usados también en lugares con alta humedad en el ambiente. En la figura 11.28 se muestran las características constructivas del seccionador tripolar para operación sin carga tipo T 20 - 400 (tensión nominal de 20 kV, intensidad nominal de 400 A para instalación en interiores de la Siemens). Y en la tabla 11.6 se consignan las características técnicas del mismo seccionador.

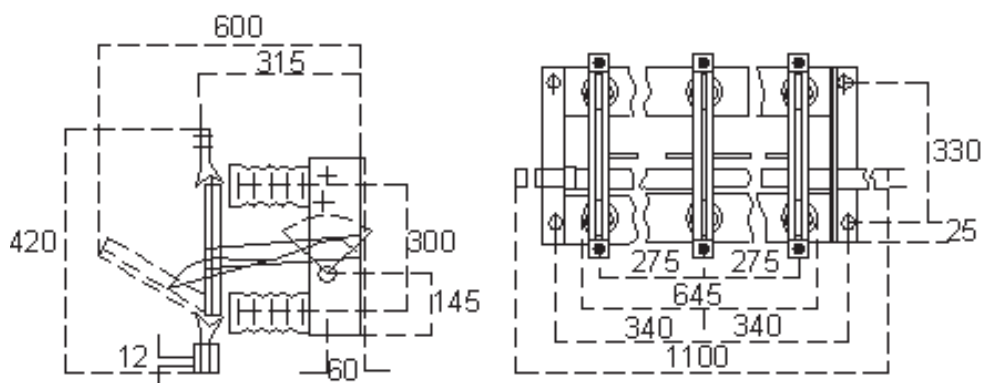


FIGURA 11.28. Seccionador tripolar para operación sin carga.

TABLA 11.6. Características técnicas del seccionador tripolar.

Tensión nominal	20 kV
Serie	C.A.
Tensión de aislamiento	20 N
Intensidad nominal	24 kV
Resistencia a los cortocircuitos en estado de conexión:	400 A
Intensidad nominal de choque (valor cresta)	35 kA
Intensidad nominal instantánea:	
Durante 1 s (valor efectivo)	14 kA
Tiempo de carga 2 s (valor efectivo)	10 kA
Tiempo de carga 3 s (valor efectivo)	8 kA
Tiempo de carga 4 s (valor efectivo)	7 kA
Tensión de choque soportable (valor cresta) 1.2/50	Respecto a piezas puestas a tierra y de polo a polo para una altitud de instalación de hasta:
	1000 m sobre el nivel del mar
	2000 m sobre el nivel del mar
	3000 m sobre el nivel del mar
	Tramo abierto de seccionamiento para una altitud de instalación de hasta :
	1000 m sobre el nivel del mar
	2000 m sobre el nivel del mar
	3000 m sobre el nivel del mar
Tensión alterna soportable (valor efectivo) 50 Hz	Respecto a piezas puestas a tierra y de polo a polo para una altitud de instalación de hasta:
	1000 m sobre el nivel del mar
	2000 m sobre el nivel del mar
	3000 m sobre el nivel del mar
	Tramo abierto de seccionamiento para una altitud de instalación de hasta:
	1000 m sobre el nivel del mar
	2000 m sobre el nivel del mar
	3000 m sobre el nivel del mar
Par nominal de accionamiento	6 kgfm

11.7.5 Seccionador tripolar bajo carga.

Es utilizado para maniobrar circuitos de alta tensión hasta 20 kV Y 400 A CA, para instalación en interiores para maniobra y protección de transformadores de distribución.

11.7.5.1 Aplicación.

Se emplea para conexión y desconexión de transformadores en vacío y a plena carga, líneas aéreas o cables; así como para conectar condensadores, grupos de condensadores o líneas dispuestas en anillos.

El seccionador se puede utilizar con fusibles de alta capacidad de interrupción con los que se asume la protección contra cortocircuito, suprimiendo de esta forma la necesidad de un interruptor de potencia en el sistema. En caso de fundirse un fusible, el seccionador desconecta las 3 fases automáticamente evitando que los equipos conectados trabajen en 2 fases.

Este seccionador se emplea en instalaciones interiores y deben maniobrar corrientes hasta 400 A.

Al incorporar fusibles HH se limita la intensidad de corte protegiendo selectivamente los consumidores.

Estando desconectado, el seccionador debe constituir una interrupción en el circuito fácilmente apreciable.

11.7.5.2 Construcción.

Para cada fase existen 2 brazos de giro hechos de resina sintética prensada, los cuales mueven el contacto tubular durante el cierre y la apertura del seccionador. Estos brazos de giro están acoplados al interruptor de corte quien es el encargado de accionar simultáneamente los 3 contactos del seccionador.

Los aisladores, de los cuales hay 2 por cada fase, son hechos también de resina sintética prensada y tienen una posición oblicua respecto a la horizontal consiguiendo con esto mayor longitud de aislamiento en el menor espacio posible. En el extremo de cada aislador superior existe una pequeña cámara de gases dispuesta en forma de anillo que ayuda a apagar el arco creado en la conexión. Véase figura 11.29

La parte móvil del seccionador consta de un contacto tubular encargado de conducir la corriente de un aislador a otro. Dentro de este contacto tubular existe un contacto auxiliar móvil en forma de varilla que se encarga de conducir la corriente mientras se hace la ruptura total del circuito por parte del contacto tubular. En la parte inferior del seccionador y por fase existe una cámara de extinción que al mismo tiempo sirve para guardar el contacto tubular cuando el seccionador está desconectado.

Este seccionador se puede equipar con 3 bases portafusibles, por lo cual, la capacidad interruptiva del seccionador es igual a la de los fusibles empleados. En la tabla 11.7 se muestran las características del seccionador bajo carga de la Siemens.

11.7.5.3 Accionamiento y disparo.

El seccionador tiene adosado un mecanismo para operación manual por medio de la palanca, motor o dispositivo de accionamiento. Adicionalmente se puede operar la desconexión por acción de los fusibles o por adición de un disparador por corriente de trabajo.

TABLA 11.7. Características del seccionador bajo carga (accionamiento vertical).

Tensión nominal		20 kVC.A.
Serie		20 s.
Tensión de aislamiento		24 kV
Intensidad nominal con fusibles	3GA1412 (10 A)	10 A
	3GA1413 (16 A)	16 A
	3GA1414 (25 A)	25 A
	3GA1415 (40 A)	40 A
	3GA2416 (63 A)	63 A
	3GA2417 (100 A)	100 A
Intensidad nominal de conexión		400 A
Intensidad nominal de desconexión	$\cos \phi = 0.7$	400 A
Intensidad de desconexión de servicio	$\cos \phi = 0.7$	35 A
Intensidad de desconexión de inductancias	$\cos \phi = 0.15$	5 A
Intensidad de desconexión de capacitores	$\cos \phi = 0.15$	20 A
Capacidad térmica		555 MVA
Resistencia contra cortocircuitos (interruptor conectado)		
Intensidad nominal de choque (valor cresta)		40 kA
Intensidad nominal instantánea:	durante 1s (valor efectivo)	16 kA
	Tiempo de carga 2 s (valor efectivo)	12 kA
	Tiempo de carga 3 s (valor efectivo)	10 kA
	Tiempo de carga 4 s (valor efectivo)	8 kA
Tensión de choque soportable (valor cresta) 1.2/50	respecto a piezas puestas a tierra y de polo a polo para una altitud de instalación de hasta:	
	1000 m sobre el nivel del mar	110 kV
	2000 m sobre el nivel del mar	102 kV
	3000 m sobre el nivel del mar	95 kV
	Tramo abierto de seccionamiento para una altitud de instalación de hasta:	
	1000 m sobre el nivel del mar	127 kV
	2000 m sobre el nivel del mar	113 kV
	3000 m sobre el nivel del mar	98 kV
Tensión alterna soportable (valor efectivo) 50 Hz	respecto a piezas puestas a tierra y de polo a polo para una altitud de instalación de hasta:	
	1000 m sobre el nivel del mar	55 kV
	2000 m sobre el nivel del mar	49 kV
	3000 m sobre el nivel del mar	43 kV
	Tramo abierto de seccionamiento para una altitud de instalación de hasta:	
	1000 m sobre el nivel del mar	59 kV
	2000 m sobre el nivel del mar	53 kV
	3000 m sobre el nivel del mar	47 kV
Par nominal de accionamiento		9 kgfm
Angulo de accioanmiento máximo		105 °

Este seccionador puede equiparse adicionalmente con cuchillas de puesta a tierra y contactos auxiliares.

El seccionador posee un mecanismo de acumulación para la desconexión consistente en un resorte que se arma cuando se conecta y bloquea el dispositivo de desconexión. Dicho bloqueo se puede accionar o por acción del dispositivo manual o por acción de uno de los percutores adosados en los fusibles, provocando la desconexión instantánea tripolar del seccionador por el disparo del resorte.

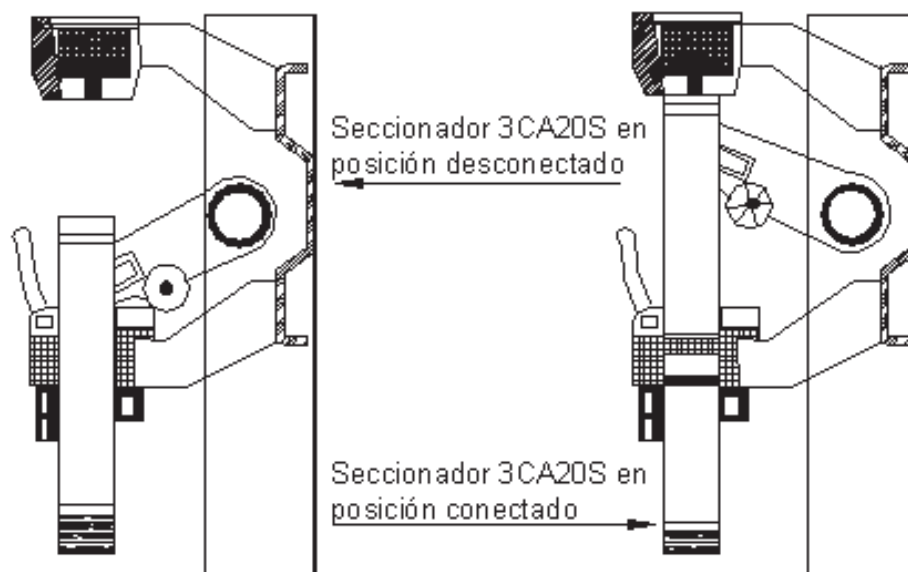


FIGURA 11.29. Posiciones del seccionador bajo carga de la Siemens (accionamiento vertical).

11.7.5.4 Funcionamiento.

Cuando el seccionador está en funcionamiento y es operado ya sea manualmente o por acción del percutor de un fusible, el contacto tubular comienza a descender a causa del disparo del resorte (ver figura 11.29), haciendo simultáneamente conexión interna con la parte inferior del contacto auxiliar que conduce ahora la corriente de carga, ya que este contacto auxiliar permanece conectado al retenedor del contacto del aislador superior.

Al continuar descendiendo el contacto tubular llega un momento en que se interrumpe toda conexión entre éste y el aislador inferior (su contacto). En este momento se crea un arco entre la parte inferior del contacto tubular y el contacto del aislador inferior generándose un gas en la cámara de extinción instalada en la parte inferior del seccionador. El gas sale fuertemente de la cámara de extinción apagando el arco rápidamente.

Mientras el contacto tubular desciende, un resorte especial colocado entre la parte superior interna del porta contacto tubular y la parte inferior externa del contacto auxiliar, se va comprimiendo ya que el contacto auxiliar está acoplado al retenedor del contacto del aislador superior y por lo tanto no tiene movimiento en este instante.

Cuando un mango adosado en la parte inferior del contacto auxiliar pega contra una cápsula colocada en la parte superior del portaccontacto, el contacto auxiliar se desconecta del retenedor y es forzado hacia abajo por el disparo del resorte especial, quedando totalmente introducido dentro del porta contacto tubular cortándose de este modo toda posible conexión entre los aisladores.

Para la conexión del seccionador se acciona el contacto tubular simultáneamente con el contacto auxiliar. En el momento de conexión y mientras el contacto auxiliar se introduce en el retenedor del contacto del aislador superior, una cápsula metálica externa aislada colocada en la parte superior del portaccontacto tubular protege contra arcos prematuros al contacto tubular, conductor de la corriente.

11.7.5.5 Condiciones de funcionamiento.

El seccionador bajo carga puede trabajar con valores de temperatura que oscilen entre + 40 °C y - 25 °C admitiéndose un valor promedio de temperatura de 35 °C como máximo cuando se trabaje durante las 24 horas del día. Estos seccionadores también pueden ser usados cuando se presentan condensaciones casuales.

Las pruebas de voltaje realizadas a fin de determinar el nivel de aislamiento, se han elaborado para alturas inferiores a los 1000 metros sobre el nivel del mar.

Para instalaciones con una altura mayor a los 1000 metros, la capacidad de aislamiento puede ser corregida mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de aislamiento} = \frac{\text{Capacidad de aislamiento hasta 1000 m}}{1.1^a} \quad (11.3)$$

En la figura 11.30 se muestran los valores de a.

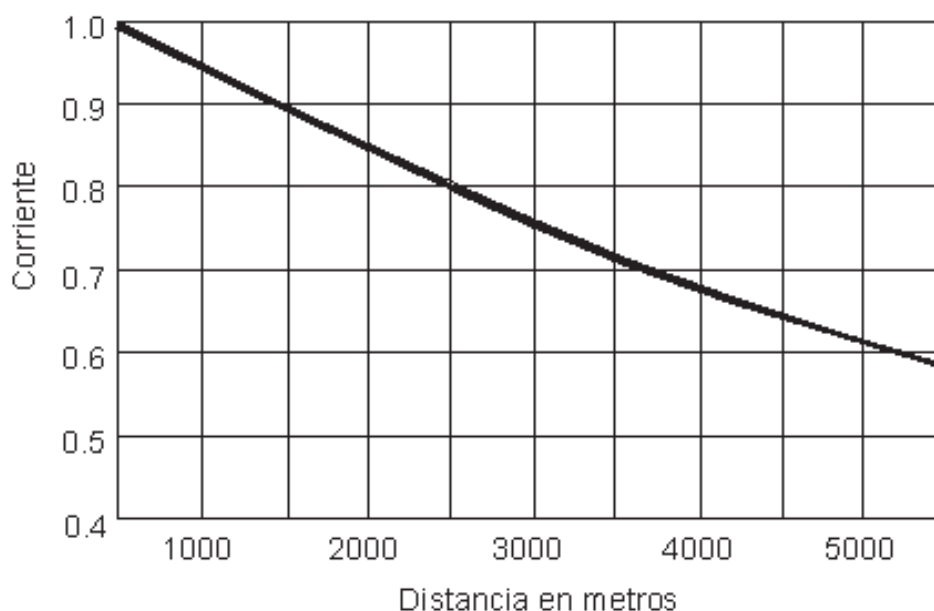


FIGURA 11.30. Factores de corrección para una prueba de voltaje con frecuencia industrial en función de la altura de montaje sobre el nivel del mar.

11.7.5.6 Mantenimiento.

Con un mantenimiento razonable del interruptor, en especial de la parte del accionamiento se permite un servicio continuo. Además, el envejecimiento, el polvo y la humedad son reducidos mediante una adecuada lubricación con aceite o grasa.

El mantenimiento se hace necesario en los siguientes casos

- Si la frecuencia de operación es superior a la mostrada en la figura 11.31, para una corriente de interrupción específica.
- Después de 3000 operaciones mecánicas de interrupción.
- Después de 5 años, si ninguno de los casos anteriores se ha tenido en cuenta.

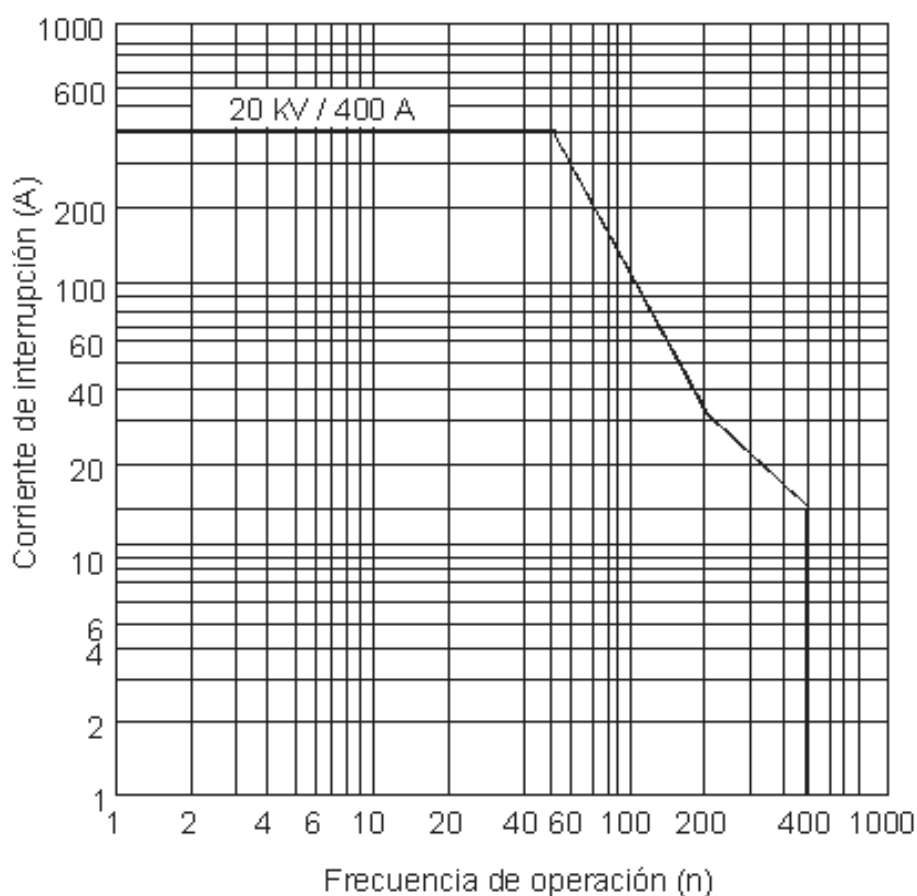


FIGURA 11.31. Frecuencia de operación n del seccionador dependiendo de la corriente de interrupción I_L

Otro tipo de seccionador bajo carga muy utilizado se muestra en la figura 11.32.

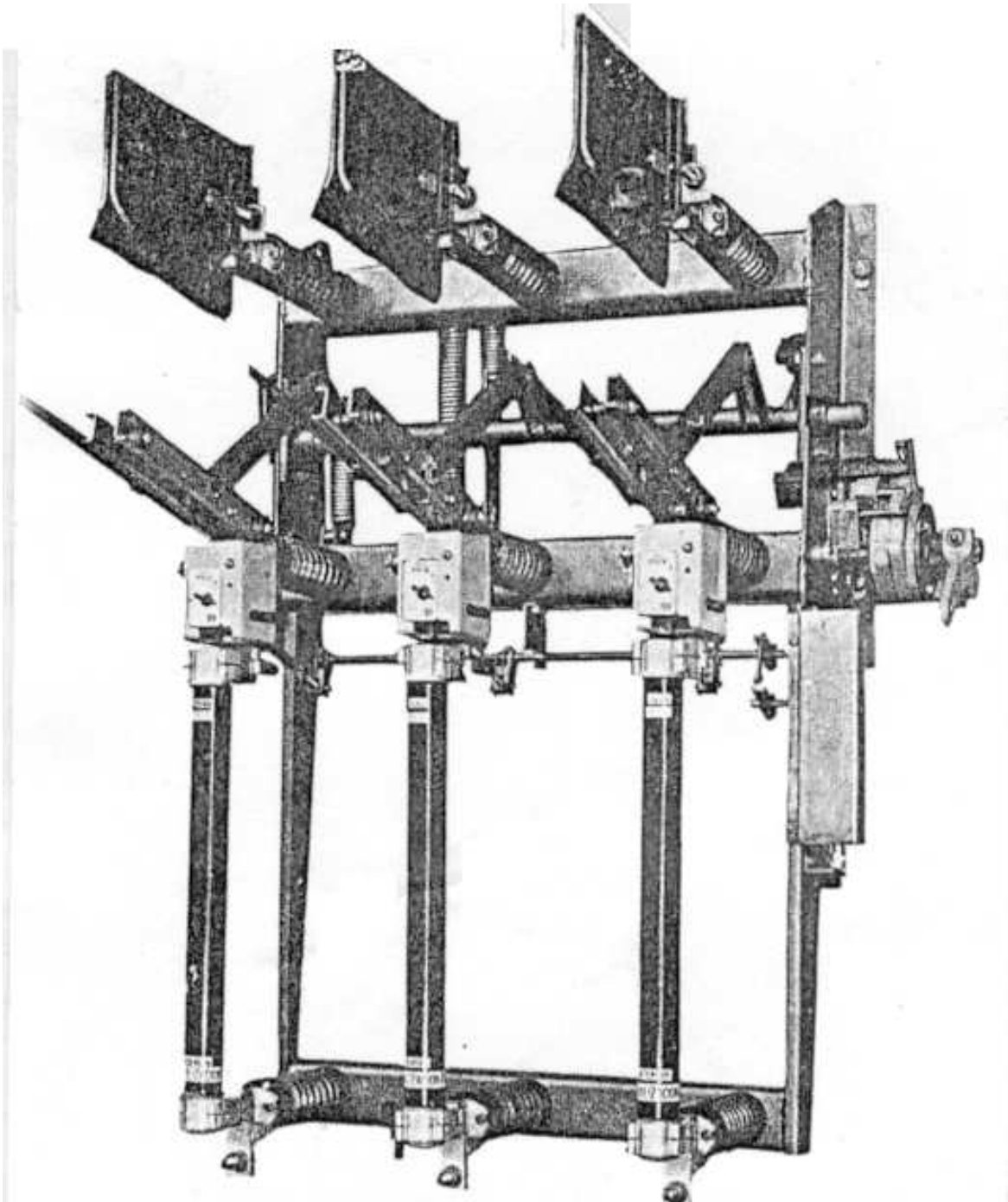


FIGURA 11.32. Seccionador bajo carga tipo cuchilla giratoria.

11.8 FUSIBLES DE ALTA TENSIÓN HH

11.8.1 Aplicación.

Los fusibles de alta tensión HH, limitan la corriente protegiendo con ello los aparatos y las partes de la instalación (transformadores, condensadores, derivaciones de cables) contra los efectos dinámicos y térmicos de las corrientes de cortocircuito. Puesto que los tiempos de fusión son muy cortos, se limitan las corrientes de cortocircuito de gran intensidad y debido a la configuración de los hilos fusibles, se evitan puentes de tensión de maniobra peligrosas. La corriente de ruptura más pequeña es de 2,5 a 3 veces el valor de la intensidad nominal del fusible.

11.8.2 Construcción.

Los fusibles HH se componen de varias cintas fusibles, con pasos estrechos, conectadas en paralelo y completamente cubiertas por medio extinguidor de grano fino (arena de cuarzo). El tubo exterior es de porcelana con superficie esmaltada. Los contactos son aplicados magnéticamente. Entre contacto y tubo se encuentra un anillo de empaque. Los conductores fusibles principales están bobinados sobre un tubo interior de cerámica de corte transversal en forma de estrella.

Al operar los fusibles, aparece en uno de sus extremos un percutor, con el cual puede accionarse un emisor del estado de maniobra o el disparo de un seccionador bajo carga. La fuerza de disparo del percutor es de unos 5 kgf y de 2 kgf aproximadamente después de un recorrido de 20 mm. (véase figura 11.33).

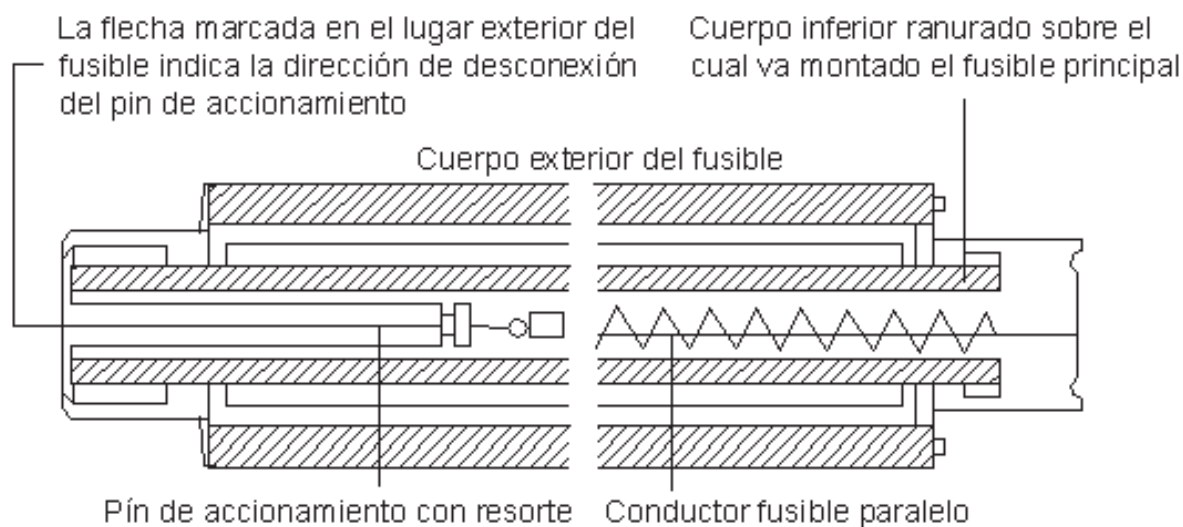


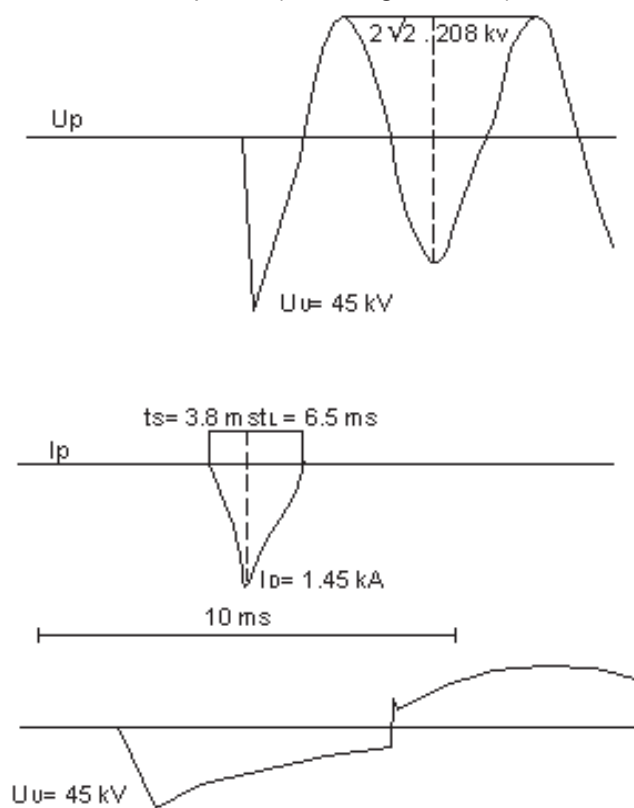
FIGURA 11.33. Constitución de un fusible HH.

Para montar y desmontar el fusible HH se emplea una tenaza aislante que tiene un solo brazo de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Van montados sobre bases portafusibles unipolares a la cual van fijados dos aisladores de apoyo de resina colada.

11.8.3 Funcionamiento.

En caso de cortocircuito, los conductores fusible principales se fusionan vaporizándose en los pasos estrechos cuando se aumentarla corriente. Los arcos voltaicos que resultan sobre estos puntos son enfriados tan fuertemente por el medio extinguidor, que su tensión de combustión con la longitud dada del arco voltaico está sobre la tensión de servicio. De esta manera se forza una reducción rápida de la corriente y ésta es extinguida en la primera media onda.

En caso de sobrecarga se logra que la corriente de desconexión mínima, que no exceda 2,5 veces la corriente nominal, por medio de la relación óptima entre los cortes transversales de los pasos estrechos y de las cintas, así como por la distribución sobre varios conductores fusible parciales. Por la construcción especial de los conductores fusible parciales se evitan extremos peligrosos en la tensión de conexión. Su promedio es de $1,5 \times 1\sqrt{2}$, donde 1 es la tensión nominal superior. (Véase figura 11.34).



Up =	Tensión de prueba	= 20.8 kV
Uu =	Tensión de desconexión	= 45.0 kV
Ip =	Corriente de prueba	= 13.2 kA
ID =	Corriente de paso	= 1.45 kA
ts =	Tiempo de fusión	
tL =	Tiempo de extinción	

FIGURA 11.34. Oscilograma de desconexión de un fusible de 3 GA.

11.8.4 Capacidad de ruptura.

La carga sobre el fusible en la desconexión es más fuerte con una corriente de cortocircuito determinada. Después decrece esta carga, aún con corriente de cortocircuito más elevada. Los fusibles han sido probados también en esta área crítica de corriente y por lo tanto, cumplen con las exigencias sobre la capacidad de ruptura en instalaciones de alta tensión.

11.8.5 Limitaciones de corriente.

Los fusibles HH son apropiados para la protección contra cortocircuitos de los elementos constitutivos de las redes eléctricas. Corrientes altas de cortocircuito no llegan hasta su punto máximo cuando fusibles HH con capacidades nominales de corriente correspondientes son usados. Aún corrientes de cortocircuito 13 a 16 veces la corriente nominal de los fusibles son limitadas por el tiempo muy corto de fusión ($t_s < 5$ mseg) y por lo tanto se evitan serias consecuencias sobre los aparatos.

El diagrama de la figura 11.35 (corriente de paso máximas posibles I_D en función de la corriente alterna inicial de cortocircuito y de la intensidad nominal del fusible I_n) muestra el efecto limitador de los fusibles en caso de corrientes de cortocircuito elevadas.

Cuando se conectan en paralelo 2 fusibles, el valor I_D determinado para un fusible debe ser multiplicado por 1,6.

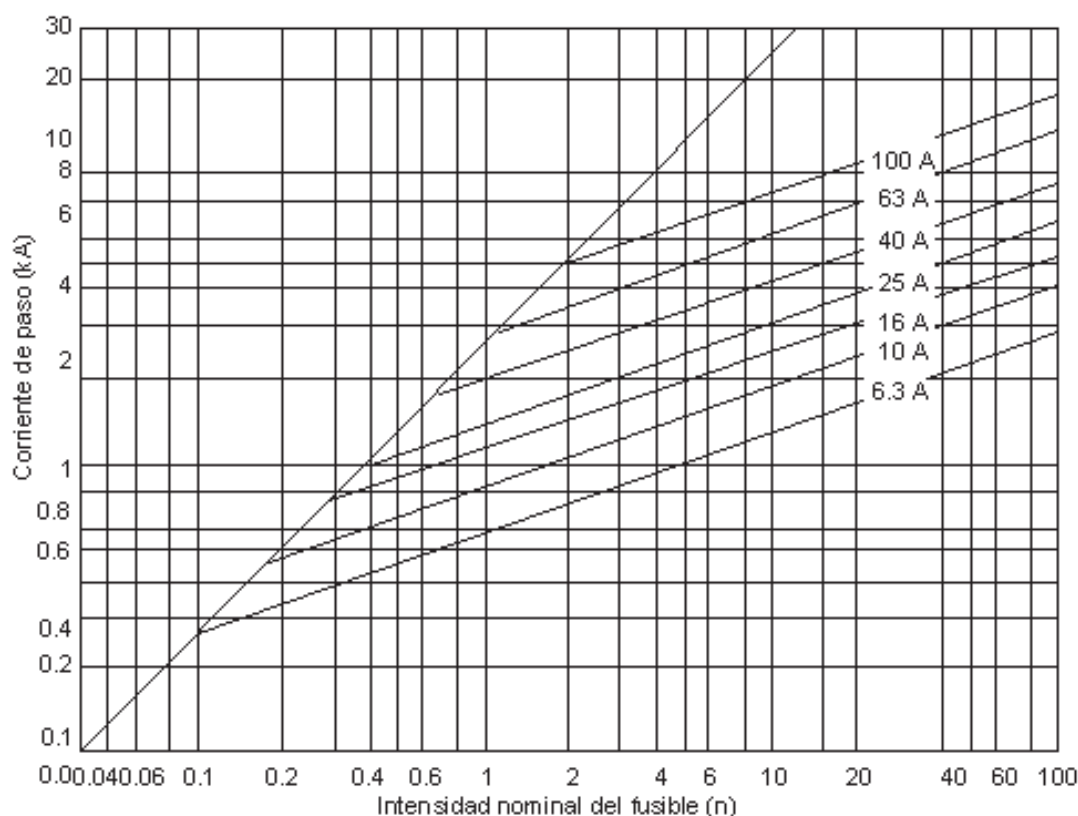


FIGURA 11.35. I_{sc} (Valor eficaz kA) líneas características de limitación.

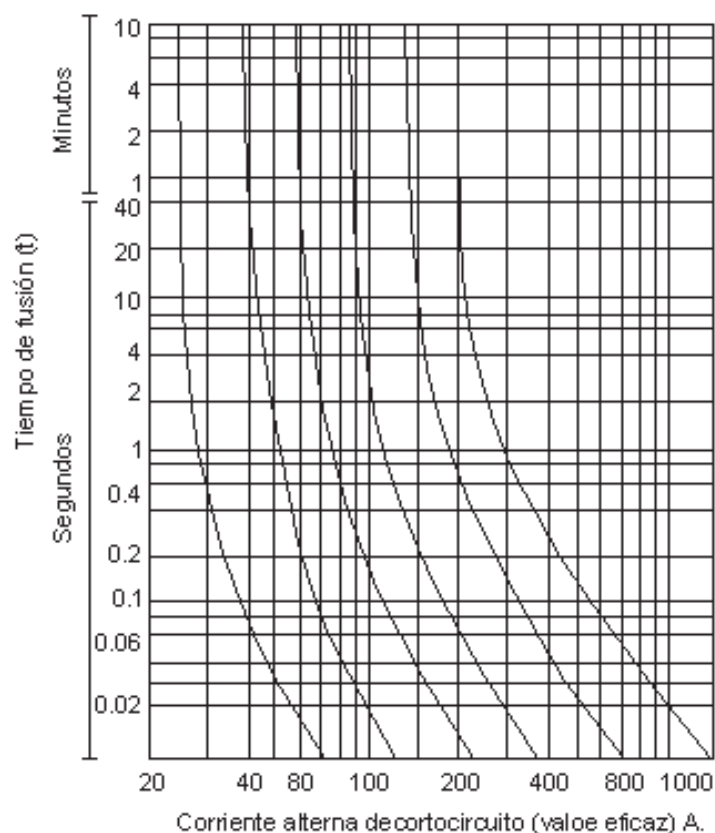


FIGURA 11.36. Curvas características medias del tiempo de fusión.

11.8.6 Curvas características del tiempo de fusión.

Estas curvas demuestran la dependencia del tiempo de fusión de la corriente de cortocircuito I_K . Ellas son iguales para fusibles HH en todas las tensiones nominales con igual corriente nominal. Como condición se tomó que la corriente alterna de cortocircuito se desarrolla simétricamente con la línea cero.

Las curvas características deben mantenerse después de una sobreintensidad en los fusibles por tiempo prolongado y son válidas con una tolerancia de $\pm 20\%$ del valor de la corriente. Las curvas de tiempo de fusión son necesarias para, estudios de selectividad en caso de transformadores protegidos con interruptores automáticos de baja tensión o con fusibles HH así como para seleccionar los fusibles para motores o contactores de alta tensión. Las intensidades nominales de los fusibles deben elegirse de tal forma que éstos no se fundan con la intensidad de choque de conexión. (Véase figura 11.36).

11.8.7 Protección de transformadores.

En la tabla 11.8 se hace relación a los fusibles HH, los cuales trabajan selectivamente con los aparatos de maniobra sobre el lado de baja tensión (fusibles NH o interruptores automáticos con disparadores). Quiere decir que los tiempos de reacción de los fusibles NH en caso de cortocircuito en el lado de baja tensión de los transformadores, están muy por encima de los tiempos de reacción de los fusibles NH o disparadores de los

interruptores. En los fusibles indicados en la columna "sin selectividad" se tomó como base el valor I_t^2 de la corriente de conexión del transformador, el cual está por debajo del fusible correspondiente, de manera que aquel no puede reaccionar por la corriente de conexión del transformador.

En transformadores con potencias nominales hasta 1000 kVA, la corriente de cortocircuito U_k es 4 % y 6 % para transformadores con potencias nominales de 1250 y 1600 kVA.

TABLA 11.8. Selectividad del circuito primario y secundario de transformadores de alta tensión 13.2 kV.

Transformador (Bajo tensión)		Intensidad nominal de los fusibles HH con selectividad referida al circuito secundario					Intensidad nominal de fusibles HH sin selectividad	
Potencia nominal	Intensidad de la corriente primaria	Intensidad de la corriente secundaria	Fusibles HH		Interruptor automático		I_t^2	
	I_1	I_2	Circuito Primario fusibles HH	Circuito Secundario fusibles NH	Circuito Primario fusibles HH	Circuito secundario Interruptor automático		
PN kVa	A	A	A	A	A	Tipo	A	A
							Valor de reacción del disparador de sobreintensidad	
30	1.1	40	10	80	10	3VB1	1200	10
50	1.9	68.5	10	80	16		1200	10
75	2.9	103	16	125	16		1450	10
100	3.9	137	16	160	25		1900	16
160	6.2	220	25	250	25	3WE31	2500	16
200	7.7	276	40	355	40		3500	25
250	9.6	340	40	355	40		3500	25
315	12.1	430	63	500	63		5500	25
400	15.4	550	63	630	63	3WE32	5500	25
500	19.2	685	100	800	63		8000	25
630	24.2	865	100	1000	100		8000	40
800	30.8	1100	--	--	--		--	40
1000	38.5	1370	--	--	--		--	63
1250	48.0	1850	--	--	--		--	63
1600	61.5	2200	--	--	--		4800	100

Ejemplo: para el esquema de la figura 11.37 con los datos que se anexan, el estudio de selectividad es como sigue:

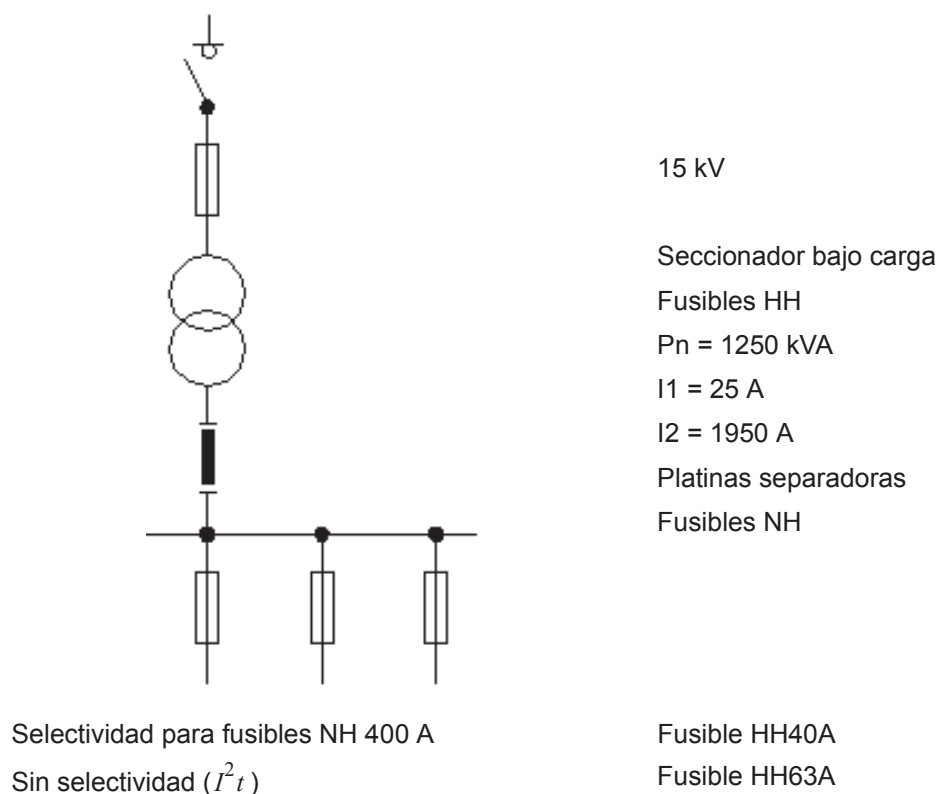


FIGURA 11.37. Estudio de selectividad con fusibles HH y NH.

Fusible NH, con fusibles NH400A en caso de selectividad se necesitan fusibles 36 A 40 A.

11.8.8 Protección de motores de alta tensión.

Como protección de motores de alta tensión contra cortocircuito se usan frecuentemente fusibles HH los cuales no deben reaccionar con la corriente de arranque (aproximadamente por un tiempo de 5 seg). con el tiempo y la corriente de arranque, se puede seleccionar de las curvas características de fusión, el fusible apropiado.

Ejemplo:

Intensidad nominal, motor de alta tensión	20 A
Intensidad de arranque (6 veces la intensidad nominal)	120 A
Tiempo de arranque	5 segundos
Intensidad nominal del fusible HH	63 A

11.8.9 Protección de condensadores.

Para protección de condensadores también se pueden utilizar fusibles HH cuando éstos se instalan en la red primaria.

11.8.10 Selección de fusibles.

Al seleccionar los fusibles se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Tensión máxima % que puede presentarse durante el servicio en el lugar de la instalación.
- Intensidad nominal del transformador o intensidad máxima de servicio en el lugar de la instalación.
- Valores máximos de la corriente de choque que pueden tener lugar durante el servicio (Ejemplo: Intensidad de choque de conexión).
- Requisitos que deben cumplirse respecto a la selectividad de los fusibles y la limitación de la intensidad de cortocircuito.

En la tabla 11.9 se muestran las características técnicas de los fusibles HH.

TABLA 11.9. Características de los fusible HH

Tensión nominal U_N							
Tensión nominal interior U_{NU}	kV	20	20	20	20	20	20
Tensión nominal superior U_{NO}	kV	24	24	24	24	24	29
Intensidad nominal I_N	A	10	16	25	40	63	100
Intensidad nominal de ruptura $I_a(\cos \varphi = 0.15)$	kV	40	40	40	40	40	31.5
Potencia nominal de ruptura P_{Na}							
Con tensión nominal inferior U(calculado de $P_{Na} = U_{NU}I_a\sqrt{3}$)	MVA	1400	1400	1400	1400	1400	1300
Con tensión nominal superior U(calculado de $P_{Na} = U_{NO}I_a\sqrt{3}$)	MVA	1600	1600	1600	1600	1600	1100
Intensidad de ruptura mínima I_{min}	A	25	40	75	120	183	350

11.9 MALLA DE PUESTA A TIERRA

11.9.1 Generalidades.

La red de conexión a tierra suministra la adecuada protección al personal y al equipo que dentro o fuera de la subestación pueden quedar expuestos a tensiones peligrosas cuando se presentan fallas a tierra en la instalación. Estas tensiones dependen básicamente de 2 factores: la corriente de falla a tierra que depende del sistema de potencia al cual se conecta la subestación; y la resistencia de puesta a tierra de la malla que depende de la resistividad del suelo, del calibre de los conductores de la malla, su separación, su profundidad de enterramiento y la resistividad superficial del piso de la subestación.

Las principales funciones son entonces: evitar sobrevoltajes, proporcionar vía de descarga de baja impedancia, servir de conductor de retorno, proporcionar seguridad a las personas, disminuir las tensiones peligrosas por debajo de los valores tolerables por el cuerpo humano.

La máxima resistencia de puesta a tierra en subestación aérea debe ser de 5Ω . De acuerdo con las siguientes exigencias del terreno se emplearán una o más varillas de cooperweld de $5/8" \times 8'$ conectadas entre si por medio de conductor de Cobre desnudo de calibre 2 / 0 AWG. La conexión a tierra del transformador se hará de tal forma que en ningún caso exista contacto falso o directo con la cuba del transformador y serán conectados a ellos los siguientes elementos:

- El conector de la cuba.
- El neutro secundario del transformador.
- Los pararrayos.
- Las pantallas de los cables aislados para 15 kV.

La conexión a tierra siempre será verificada midiendo en todo caso la resistividad del terreno.

Pueden ser construidas mallas de puesta a tierra para las subestaciones, las cuales deben cumplir las siguientes condiciones:

1. Debe tener una resistencia tal que el sistema se considere como sólidamente puesto a tierra.

Para 13,2 kV la resistencia de la malla debe ser 5Ω máximo.

Para 34,5 kV la resistencia de la malla debe ser 3Ω máximo.

Para 115 kV la resistencia de la malla debe ser 1Ω máximo.

2. La variación de la resistencia, debido a cambios ambientales, debe ser tal que la corriente de falla a tierra, en cualquier momento, sea capaz de producir el disparo de las protecciones. Normalmente se toma el valor de la corriente de falla monofásica.
3. El tiempo máximo de duración de la falla en segundos se toma de los tiempos de operación de las curvas características de los fusibles.
4. Al pasar la corriente de falla durante el tiempo máximo de falla, no deben existir calentamientos excesivos.
5. Debe conducir las corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos entre puntos vecinos.
6. Debe ser resistente a la corrosión.

11.9.2 Selección del conductor.

Para definir el calibre del conductor se emplea la siguiente relación de tal manera que soporte las condiciones térmicas producidas por una corriente de falla durante el tiempo que dure ésta en segundos. Un cálculo que asegura una buena aproximación se realiza mediante la expresión.

$$A_C = I_{falla} \cdot kf \cdot \sqrt{t} \quad (11.4)$$

donde:

A_C Area del conductor en CM.

t Tiempo máximo de despeje de la falla

I_{falla} Corriente máxima de falla. A

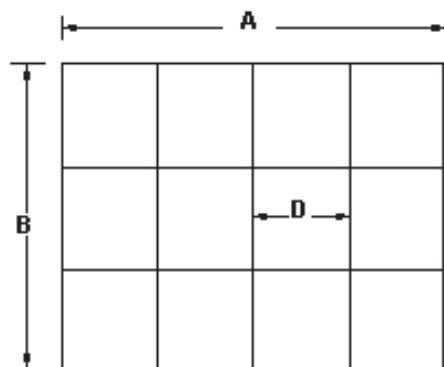
kf Constante del material = 7.01 para cable 100 % de conductividad.
= 7.06 para cobre 97.5 % de conductividad.

La forma IEEE 80 recomienda como calibre mínimo 2 / 0 AWG de Cobre.

11.9.3 Escogencia de la configuración de la malla.

Se inicia con la configuración más sencilla cambiando configuraciones hasta que las tensiones de paso y de contacto reales queden menores o iguales a las permitidas y por lo tanto, la resistencia de la malla sea menor o igual a la exigida.

La figura 11.38 muestra una configuración sencilla donde aparecen todos los parámetros empleados:



d = Diámetro conductor en metros.

n = número de conductores de longitud A.

A = Longitud de la malla en metros.

m = número de conductores de longitud B.

B = Ancho de la malla en metros.

$L_c = nA + mB$ = Longitud total del conductor de la malla. (11.5)

D = Espaciamiento entre conductores en metros.

h = Profundidad de la malla en metros.

FIGURA 11.38. Configuración típica de la malla.

11.9.4 Cálculo de las tensiones de paso y de contacto máximas permitidas por el cuerpo humano (personas con peso corporal de 50 kg).

De acuerdo con la norma IEEE 80 se establecen las tensiones máximas de contacto E_t y de paso E_s y que se pueden calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$E_t = (1000 + 1.5 C \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ V} \quad (11.6)$$

$$E_s = (1000 + 6 C \rho_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ V} \quad (11.7)$$

donde:

1000 = Es la resistencia promedio del cuerpo humano en Ω .

t = Tiempo de despeje de la falla seg.

ρ_s = Resistividad de la capa superficial del terreno $\Omega - m$

C = Factor de reducción que es función del espesor del material de la superficie y del factor de reflexión K y de la profundidad de malla.

= 1.0 si $\rho = \rho_s$ o sea $K = (\rho - \rho_s) / (\rho + \rho_s) = 0$

ρ = Resistividad del terreno $\Omega - m$

Las ecuaciones anteriores quedan de la siguiente forma:

$$Et = (116 + 0.174\rho_s)/\sqrt{t} \quad \text{V} \quad (11.8)$$

$$Es = (116 + 0.696\rho_s)/\sqrt{t} \quad \text{V} \quad (11.9)$$

Expresiones que se deben utilizar cuando existe alta probabilidad de ingreso a las subestacion de personas de contextura delicada como mujeres.(con peso corporal 50 kg).

11.9.5 Cálculo de la resistencia de la malla.

El primer paso consiste en hallar la resistencia de un conductor transversal de longitud A mediante la siguiente expresión:

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi A} \left(\ln \frac{2A}{r} + \ln \frac{A}{h} - 2 + 2\frac{h}{A} - \frac{h^2}{A^2} \right) \quad (11.10)$$

en donde:

- R_s Resistencia de puerta a tierra de un solo conductor trasversal en Ω .
- ρ Resistividad en $\Omega - m$ (del terreno).
- A Longitud de un conductor trasnversal en m.
- h Profundidad de la malla m.
- r Radio del conductor m.

El segundo paso consiste en el cálculo de la resistencia debida a las iterferencias mutuas entre conductores, mediante la siguiente expresión:

$$R_A = \frac{\rho}{2\pi A} \left(\ln \frac{4A}{E} - 1 + \frac{E}{2A} - \frac{E^2}{16A^2} \right) \quad (11.11)$$

en donde:

- R_A = Resistencia mutua en Ω .
- E = Espaciamiento equivalente entre un conductor y los demás. metros.
- E = F x D. (11.12)
- F = Factor de espaciamiento dado por la tabla 11.10.
- D = Espaciamiento entre conductores.

TABLA 11.10. Factores de espaciamiento.

Número de conductores	Factor de espaciamiento (F)
2	1.00
3	1.26
4	1.51
5	1.76
6	2.01
7	2.25
8	2.49
9	2.73
10	2.97
11	3.21
12	3.44
13	3.50

En el tercer paso se halla la resistencia total de un conductor así:

$$R_C = R_S + (n - 1)R_A \quad (11.13)$$

Y la resistencia en n conductores en paralelo de longitud A:

$$R_{Cn} = R_C / n \quad (11.14)$$

En forma análoga se determina la resistencia de los conductores transversales de unión de longitud B.

La resistencia de un solo conductor de unión es:

$$R_{SU} = \frac{\rho}{2\pi B} \left(\ln \frac{2B}{r} + \ln \frac{B}{h} - 2 + 2\frac{h}{B} - \frac{h^2}{B^2} \right) \quad (11.15)$$

La resistencia mutua de los conductores de unión es:

$$R_{AU} = \frac{\rho}{2\pi B} \left(\ln \frac{4B}{E} - 1 + \frac{E}{2B} - \frac{E^2}{16B^2} \right) \quad (11.16)$$

La resistencia mutua de los componentes de unión incluyendo la interferencia debida a los conductores transversales a los cuales se encuentran unidos es:

$$R_{AM} = (m - 1)R_{Au} + (n - 1)R_A \quad (11.17)$$

La resistencia total de un solo conductor de unión es:

$$R_{Cu} = R_{Su} + R_{AM} \quad (11.18)$$

y la resistencia de los m conductores de unión es:

$$R_{Cm} = \frac{R_{Cu}}{m} \quad (11.19)$$

la resistencia total de la malla es:

$$R = \frac{R_{Cn} \cdot R_{Cm}}{R_{Cn} + R_{Cm}} \quad (11.20)$$

11.9.6 Cálculo de las tensiones de paso y de contacto reales.

Para una malla de tierra como la mostrada en la figura 11.38, las tensiones de paso y de contacto reales vienen dadas por las siguientes relaciones:

$$E_{S \text{ real}} = \frac{K_s K_i \cdot \rho \cdot Ig}{L} \text{ V} \quad (11.21)$$

$$E_{t \text{ real}} = \frac{K_m K_i \cdot \rho \cdot Ig}{L} \text{ V} \quad (11.22)$$

donde:

ρ = Resistividad del terreno.
 L = $LC + 1.15 L_r$ para mallas con varillas perimetrales. (11.23)

LC = Longitud de los conductores de la malla.

L_r = Longitud de las varillas periféricas.

Ig = Corriente máxima disipada por la malla.

Ig = $Sf \times Df \times Cp \times I$ falla. (11.24)

Cp = Factor de proyección que tiene en cuenta futuros incrementos de potencia de la subestación.

Cp = 1.0 cuando no se esperan ampliaciones futuras.

Df = Factor de decremento o corrección por componente simétrica.

Df = 1.0

Sf = Factor de división de la corriente de falla; indica la fracción de corriente de falla que disipará la malla considerando que el resto se disipará en las tierras vecinas que están conectadas con la malla a través del neutro o del cable guarda.

K_i = Coeficiente de irregularidad del terreno que toma en cuenta el incremento en la densidad de corriente en los extremos de la malla.

K_i = $0.656 + 0.172 N$ (11.25)

N = $\sqrt{n \times m}$ para mallas rectangulares con retículas cuadradas. (11.26)

K_s = Coeficiente de contacto.

Para mallas con profundidad entre 0.25 y 2.5 m es:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \cdot (1-0.5)^{N-2} \right) \quad (11.27)$$

K_m = Coeficiente de contacto

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hD} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{Kh} \cdot \ln \frac{8}{\pi(2N-1)} \right] \quad (11.28)$$

$K_{ii} = 1$ Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro o para mallas con varillas de tierra en las esquinas y en toda el área de la malla.

$K_{ii} = \frac{1}{(2N)^{2/N}}$ para mallas sin varillas de tierra o con unas pocas, ninguna en las esquinas. (11.29)

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_o} \quad (11.30)$$

$$h_o = 1 \text{ m}$$

La elevación del potencial de tierra estará dada por:

$$GPR = R \times I_g \quad (11.31)$$

Este GPR debe ser menor que la tensión tolerable de toque Et . Es decir el diseño final satisfactorio será el que cumpla:

$$GPR \leq Et \quad (11.32)$$

$$Et_{\text{real}} \leq Et \quad (11.33)$$

Para realizar el diseño de la malla es necesario conocer previamente la resistividad del terreno ρ . la resistividad superficial del terreno ρ_s , la corriente total de falla I_{falla} y la corriente que disipará la malla I_g .