



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DELICIAS
UNIDAD 6 INTRODUCCIÓN A LAS SUBESTACIONES
ELÉCTRICAS

Materia: Circuitos Eléctricos 2



Alumno: Juan Daniel Acosta López

No. De Control: C19540233

37 Paginas

A 12 de diciembre del 2021

Introducción

Las subestaciones eléctricas son instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases o conexiones de dos o más circuitos. Se ubican cerca de las centrales generadoras, en la periferia de las zonas de consumo o en el exterior e interior de los edificios. Por lo general, las subestaciones de las ciudades están dentro de los edificios para así ahorrar espacio y reducir la contaminación. En cambio, las instalaciones al aire libre se sitúan a las afueras de los núcleos urbanos.

Las subestaciones eléctricas intervienen en la generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. Son capaces de modificar la tensión, corriente y frecuencia.

La electricidad que viaja a larga distancia se incrementa a un voltaje más alto para minimizar las pérdidas de energía en el camino. Cuando llega el momento de “salir de la autopista”, por así decirlo, ingresa a una subestación donde el voltaje se reduce para distribuirse al usuario final: el consumidor. Asimismo, podría incrementarse si viaja en la dirección opuesta.

El elemento principal de las subestaciones eléctricas es el transformador que se encarga de modificar la tensión de la energía eléctrica mediante el aumento de la intensidad y la potencia constante.

5.1 Tipos de subestaciones eléctricas

Subestaciones Eléctricas por Nivel de Tensión



Las subestaciones eléctricas trabajan con diferentes niveles de tensión, que dependen de las necesidades propias del proyecto. El nivel de tensión que se utilice dependerá de cada país, pero se pueden clasificar por rangos de la siguiente manera:

Baja Tensión (LV):

Una tensión nominal menor o igual a 1000V

Media Tensión (MV):

Una tensión nominal mayor a 1000V y menor que 100kV

Alta Tensión (HV):

Una tensión nominal igual o mayor a 100kV e igual o menor que 230kV

Extra Alta Tensión (EHV):

Una tensión nominal mayor que 230kV, pero menor que 1000kV

Ultra Alta Tensión (UHV):

Una tensión nominal igual o mayor a 1000kV



Subestaciones Eléctricas por su funcionalidad



Las subestaciones también pueden ser clasificadas según su funcionalidad:

Transformadoras Elevadoras:

Este tipo de subestación eléctrica eleva la tensión generada a niveles mucho más altos para poder transportarla.

Transformadoras de Bajada:

este tipo de subestación eléctrica baja la tensión a niveles mucho más bajos para poder distribuirla.

De Maniobra:

Normalmente son aquellas que conectan más de un circuito, no se sube ni se baja la tensión, sólo sirve como un nodo en el sistema eléctrico.

Subestaciones Eléctricas por Área de Servicio



Las subestaciones eléctricas también las podemos identificar según el área de servicio en la cual se están desempeñando. Aquí tenemos a las subestaciones de:



Generación:

Estas subestaciones las encontramos en las mismas generadoras eléctricas. Desde estas subestaciones se sube la tensión para inyectarlas a los sistemas de transmisión.

Transmisión:

Estas subestaciones funcionan como nodos del sistema eléctrico, para puntos de conexión con generadoras, distribuidoras y otras subestaciones de transmisión. Generalmente se encuentran en las periferias de las ciudades. No obstante, pueden encontrarse igualmente en las ciudades.

Distribución:

Estás son subestaciones de bajada ubicada el las ciudades mismas, desde esta se alimentan los sectores industriales, las grandes ciudades y los clientes finales (casas).

Subestaciones Eléctricas por su aislamiento



Otra forma de clasificar las subestaciones es por su aislamiento, de las cuales tenemos:

Aire:

Este tipo de subestaciones tiene como medio de aislamiento el aire, también son las normalmente denominadas subestaciones convencionales. En la actualidad, es muy raro encontrar nuevas



construcciones con este tipo de aislamiento. Fue parte importante de las subestaciones en el pasado, pero en la actualidad existen medios de aislamiento mucho más eficientes.

SF6:

El gas de aislamiento SF6 (Hexafloruro de Azufre) es un medio de aislamiento superior al aire y es ampliamente utilizado en la actualidad para los equipos de alta tensión. Todo el equipamiento eléctrico principal se introduce en el interior de una envoltura metálica inmerso en SF6, con esto es posible reducir las

distancias de aislamiento drásticamente por lo que las extensiones de terreno de la subestación se reducen más de un 50% respecto de un equipamiento tradicional. Aquí se encuentra inmerso el conjunto completo de equipos eléctricos interruptor, desconectador etc. Estas son las denominadas GIS.

Híbridas:

Aquí es similar a las subestaciones de SF₆, pero la diferencia es que los equipos de conexión de cada circuito están en una la envoltura metálica inmersa en SF₆ de forma separada. Vale decir, por ejemplo, el interruptor de poder, sus contactos internamente están aislados en SF₆ y es un solo equipo eléctrico. De esta manera, puedo tener desconectadores tradicionales, con interruptores en SF₆ operando en la subestación. Una mezcla entre equipos de aire y SF₆.



5.2 Arreglos básicos de subestaciones eléctricas

Las barras son utilizadas, generalmente, para interconectar dos o más circuitos de un sistema de potencia. Estos circuitos pueden ser generadores, transformadores, líneas de transmisión, motores, entre otros.

Cuando ocurre una falla en una barra, el sistema queda ampliamente afectado, debido al nivel de corriente de cortocircuito resultante por la ubicación de la barra en el sistema, y a la cantidad de circuitos que deben abrirse para despejar la corriente de contribución al cortocircuito. Por tal razón, se suelen dividir las barras con un interruptor de enlace, o se diseñan arreglos de barras adecuados para minimizar el número de circuitos que deben abrirse para despejar la falla que podría ocurrir en la barra asociada.

Los interruptores que conforman el arreglo de barras, usualmente tienen seccionadores en cada lado para aislar al interruptor del sistema después de alguna contingencia o por mantenimiento. Los seccionadores se operan sin carga, manualmente o por un control remoto.

Por lo general, el tipo de protección eléctrica que se utiliza en las barras es la Protección Diferencial (ANSI 87B), porque proporciona la sensibilidad y rapidez

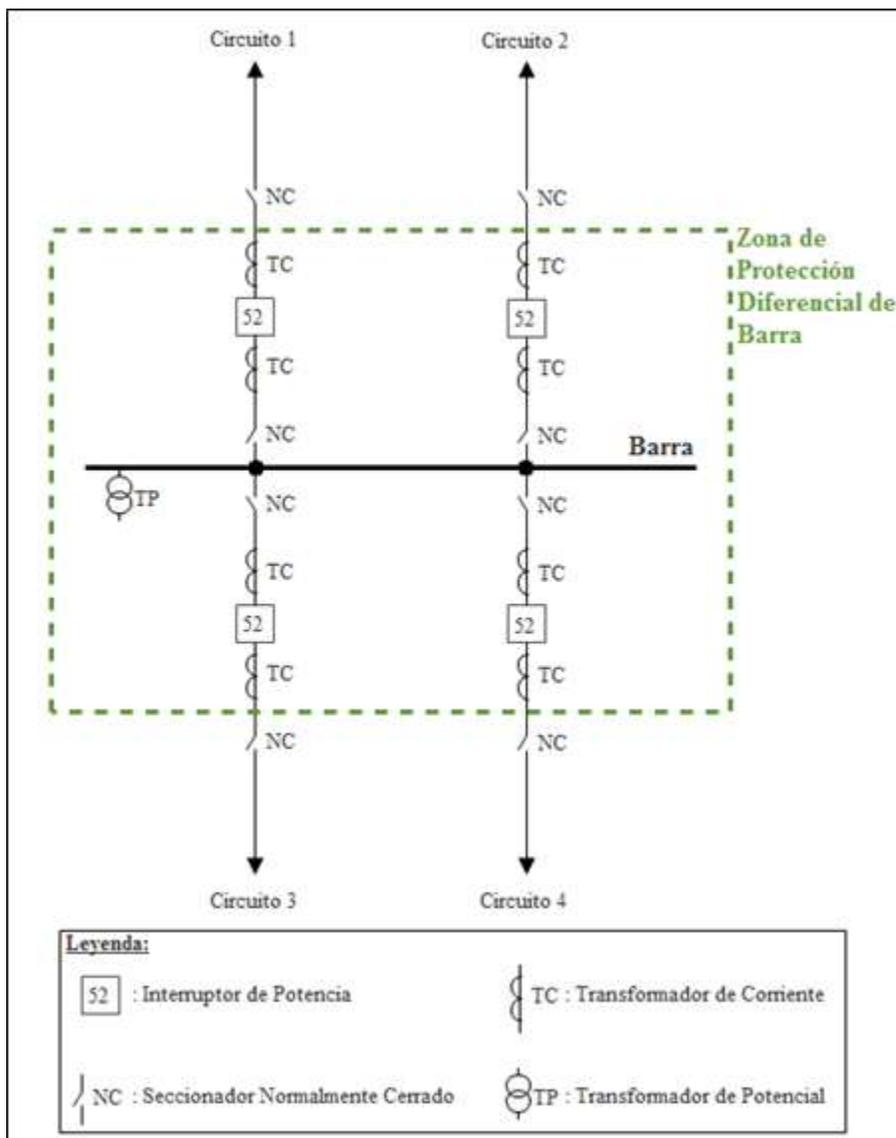
requeridas para cortocircuitos entre fases y fallas a tierra. A continuación, se describen los arreglos de barras más sencillos a utilizar en las Subestaciones Eléctricas (S/E), la complejidad del arreglo depende de la importancia que se les dé a los circuitos interconectados en la S/E.



ARREGLOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Barra Simple

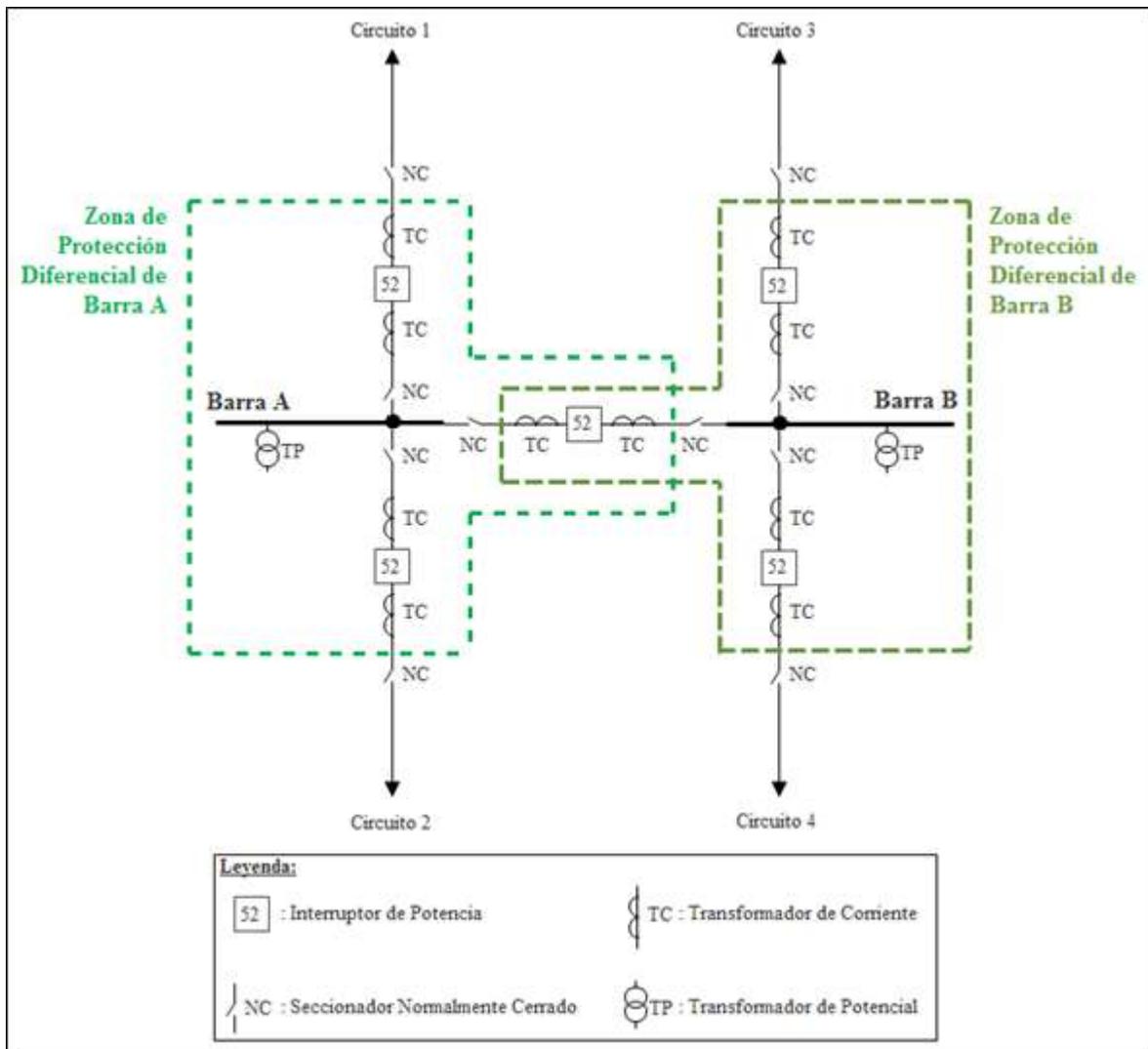
El tipo de arreglo de Barra Simple es el diseño más básico y económico, usado particularmente en distribución y transmisión de baja tensión. La protección diferencial de barra se proporciona a través de los Transformadores de Corriente (TC) utilizados por los relés, dispuestos de forma adecuada para que la zona de protección encierre a la barra completamente, como se muestra en la siguiente Figura para el caso de cuatro (4) circuitos interconectados.



La desventaja de este arreglo es que no proporciona flexibilidad operativa, pues las fallas que ocurran en la barra provocarán que las protecciones abran todos los circuitos conectados, además, el mantenimiento de los interruptores requiere que el circuito involucrado salga de servicio, pero, se puede tomar la ventaja de programar el mantenimiento de todo ese circuito y su sistema de protección al mismo tiempo. Adicionalmente, se puede conectar un transformador de potencial (TP) en la barra para suplir la tensión a los equipos de protección de todos los circuitos.

Barra Simple Seccionada con Interruptor de Enlace

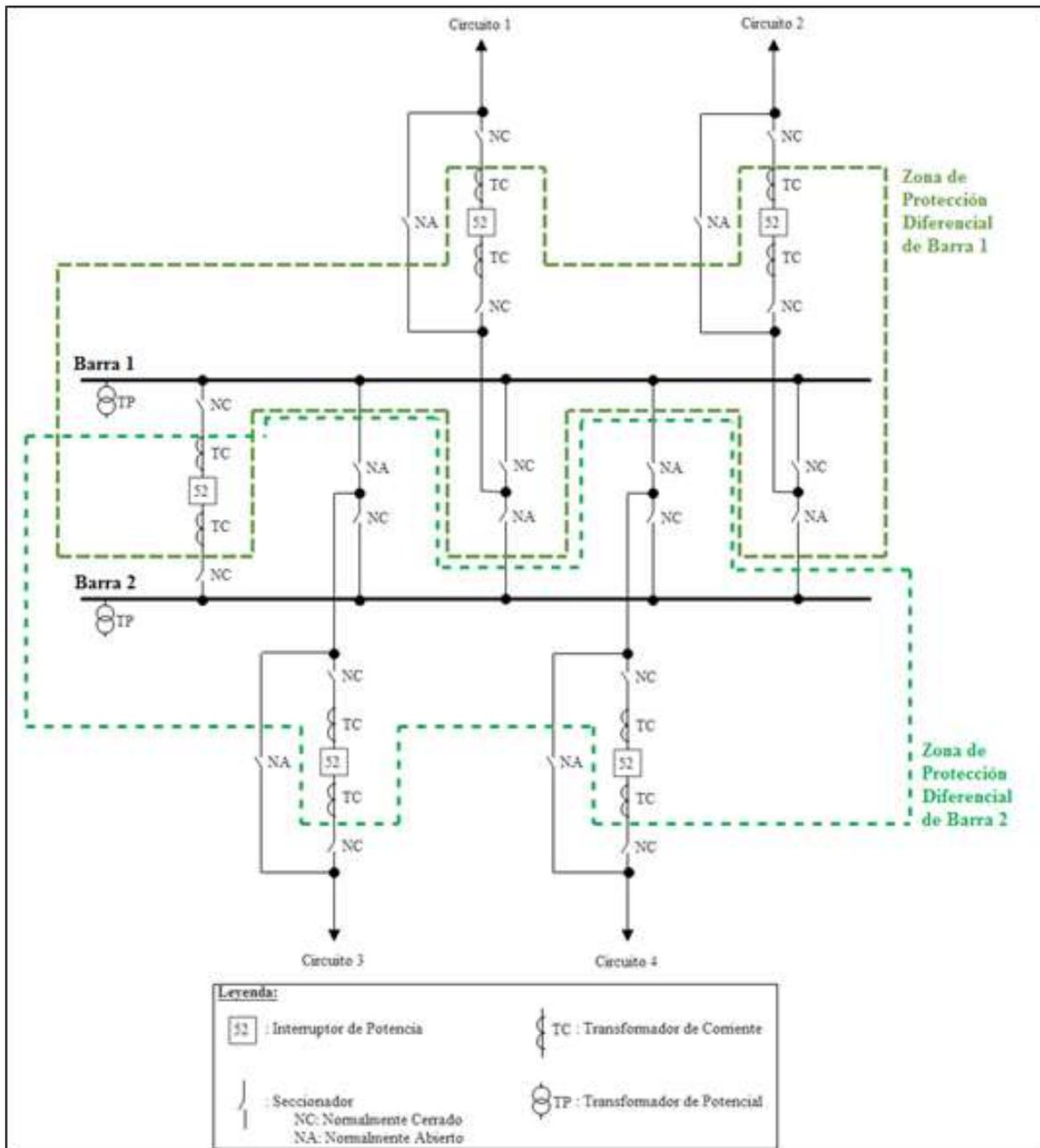
Este tipo de arreglo de barra es utilizado cuando hay gran número de circuitos interconectados o en S/E industriales, porque proporciona flexibilidad cuando la S/E es alimentada por dos fuentes separadas. Una fuente se conecta a cada barra y se permite la operación sin importar que el interruptor de enlace se encuentre abierto o cerrado, tal como se muestra en la siguiente Figura.



Doble Barra con Interruptor de Enlace

El arreglo de Doble Barra con Interruptor de Enlace proporciona alta flexibilidad para la operación del sistema, ya que consiste en dos barras paralelas con un interruptor de potencia para enlazarlas. Es decir, cualquier línea puede operar desde cualquier barra; las barras pueden operar juntas (con el interruptor de enlace cerrado) como se muestra en la siguiente Figura o independientemente (con el interruptor de enlace

abierto), en este caso, una barra puede usarse como barra de transferencia si un interruptor de línea sale de servicio. La desventaja de este arreglo es que se complica la relación de conmutación entre la protección diferencial de barra y la protección de las líneas conectadas. Se requieren dos zonas diferenciales, una para cada barra.

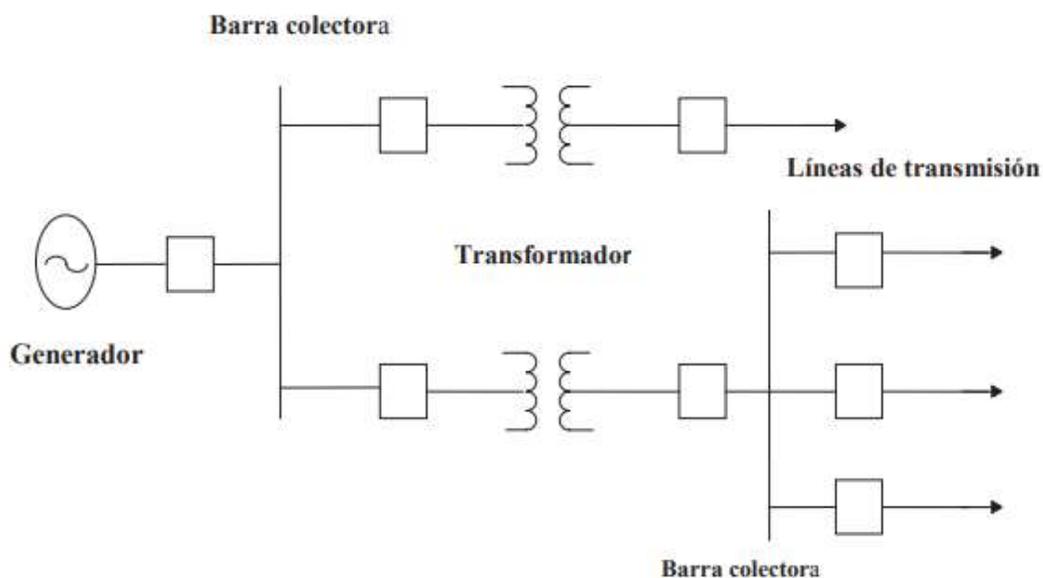


En esta Figura se muestra que por medio de las posiciones de los seccionadores los circuitos 1 y 2 están conectados a la barra 1, y los circuitos 3 y 4 están conectados a la barra 2. En caso de que la distribución de los circuitos en las barras cambie, entonces cambiará la forma de la zona de protección diferencial de cada barra.

Si ocurre una falla en alguna barra, o circuito asociado, se requerirá el disparo de todos los circuitos conectados a la barra al mismo tiempo, pero la otra barra no se ve afectada. Si la falla ocurre en el interruptor de enlace, se deben disparar las protecciones de ambas barras y de todos los circuitos.

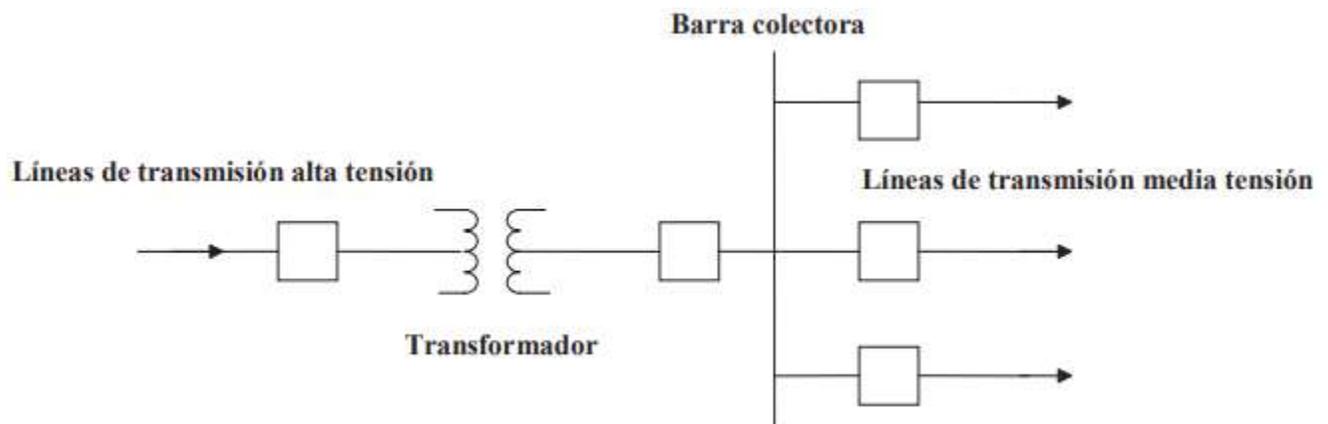
Subestaciones elevadoras

Este tipo de subestaciones se usa en las centrales eléctricas, cuando se trata de elevar la tensión de generación a valores de tensión de transmisión como se muestra en la Figura:



Subestaciones reductoras.

En estas subestaciones, los niveles de tensión de transmisión se reducen al siguiente (subtransmisión), o de subtransmisión a distribución o eventualmente a utilización como se muestra en la Figura:

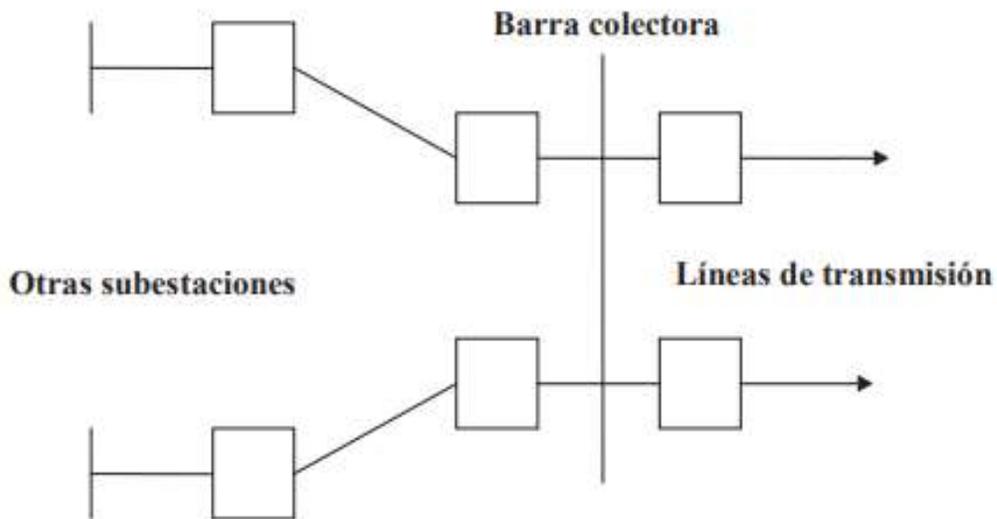


Estas son subestaciones que se encuentran en las redes de transmisión, subtransmisión o distribución y constituyen el mayor número de subestaciones en un sistema eléctrico.

Subestaciones de enlace

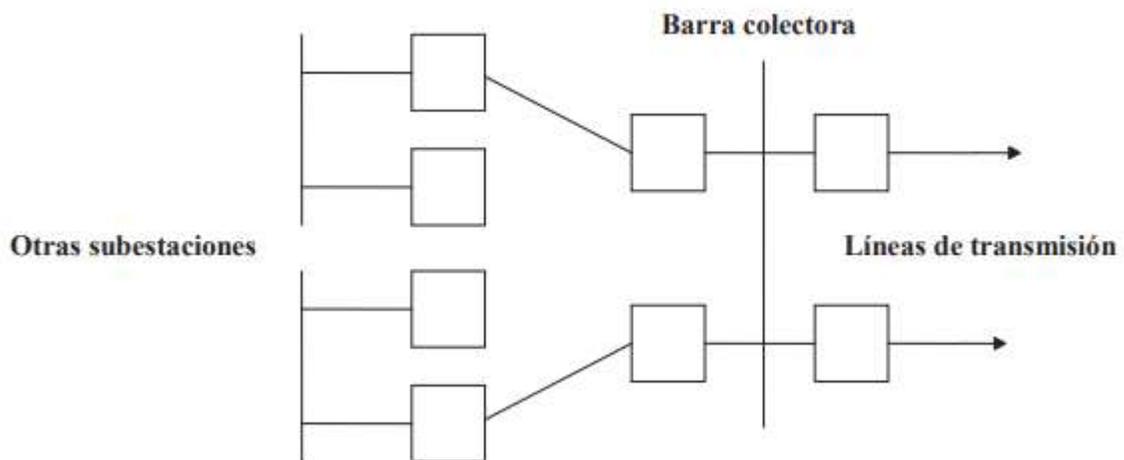
En los sistemas eléctricos, se requiere tener mayor flexibilidad de operación para incrementar la continuidad del servicio y consecuentemente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de las

llamadas subestaciones de enlace como se muestra en la Figura:



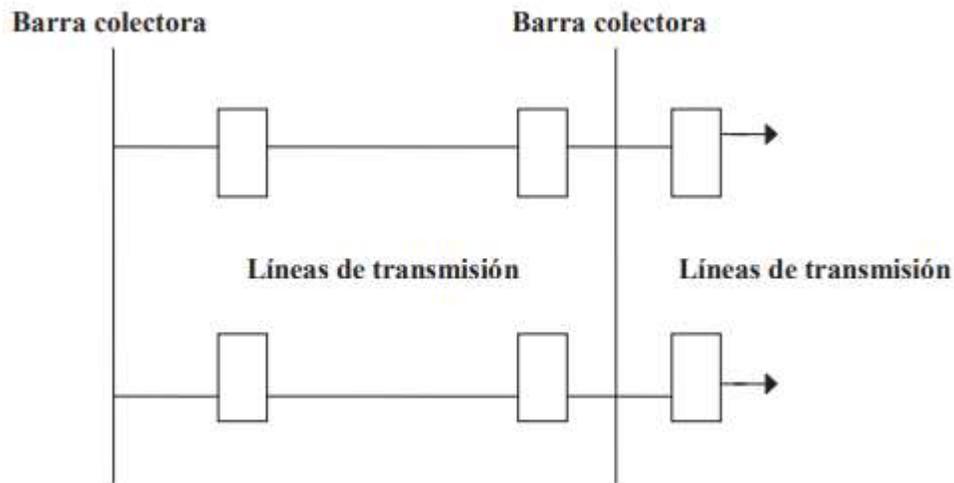
Subestaciones en anillo

Estas subestaciones se usan con frecuencia en los sistemas de distribución para interconectar subestaciones que están interconectadas a su vez con otras como se muestra en la Figura:



Subestaciones radiales

Cuando una subestación tiene un solo punto de alimentación y no se interconecta con otras, se denomina radial como se muestra en la Figura:



Los principales arreglos de subestaciones compactas.

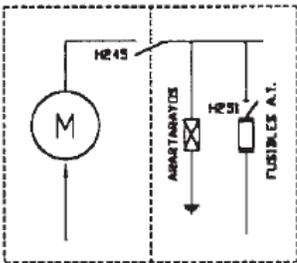


Arreglos de subestaciones Clase 15kV.

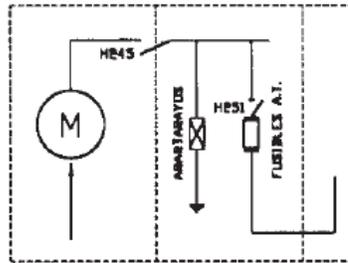
Todos los arreglos de subestaciones compactas se pueden hacer para servicio interior Nema 1, servicio exterior Nema 3R ó servicio interior a prueba de polvo y goteo Nema 12.

Componenetes (celda y equipo)*	Alto NEMA 1/12 (mm.)	Alto NEMA 3R (mm.)	Frente NEMA 1/12/3R	Fondo NEMA 1/12/3R (mm.)
Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2100	2250	2400	1200
Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de acoplamiento y tapas laterales.	2100	2250	2800	1200
Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos ; celda de transición, 2 celdas de seccionador derivado sin apartarrayos y tapas laterales.	2100	2250	5200	1200
Celda de seccionador con apartarrayos, cuchilla de paso entre celdas, celda de medición (al centro), cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2100	2250	3600	1200
Celda de acoplamiento, celda de seccionador con apartarrayos, cuchilla de paso entre celdas, celda de medición (al centro), cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2100	2250	4400	1200
Celda de acometida, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de acoplamiento y tapas laterales.	2100	2250	2000	1200
Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2100	2250	2000	1200
Celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2100	2250	1600	1200
Celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2100	2250	1200	1200
Celda de medición sin tapas laterales.	2100	2250	1200	1200
Celda de acoplamiento sin tapas laterales.	2100	2250	400	1200
Celda de acometida sin tapas laterales.	2100	2250	400	1200
Celda de seccionador sin apartarrayos y sin tapas laterales.	2100	2250	1200	1200

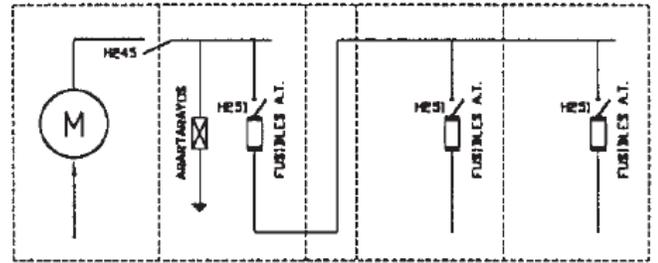
Arreglo No.1



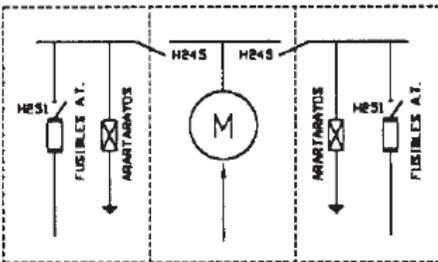
Arreglo No.2



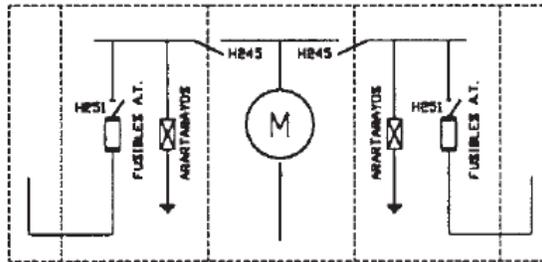
Arreglo No.3



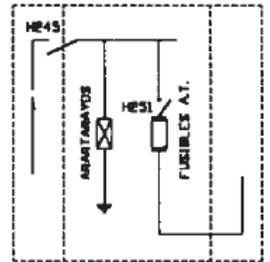
Arreglo No. 4



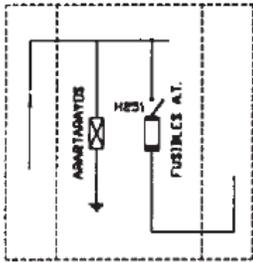
Arreglo No. 5



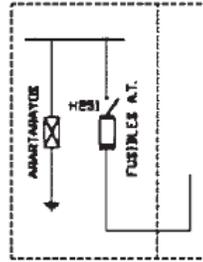
Arreglo No. 6



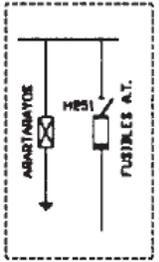
Arreglo No. 7



Arreglo No. 8



Arreglo No. 9

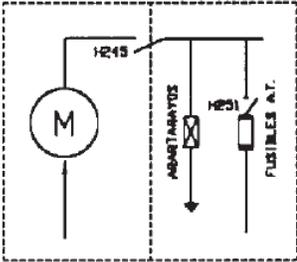


Arreglos de subestaciones Clase 15kV.

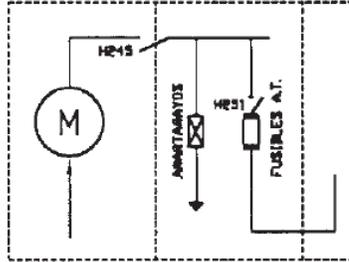
Todos los arreglos de subestaciones compactas se pueden hacer para servicio interior Nema 1, servicio exterior Nema 3R ó servicio interior a prueba de polvo y goteo Nema 12.

Número de arreglo	Componentes (celda y equipo)*	Alto NEMA 1/12 (mm.)	Alto NEMA 3R (mm.)	Frente NEMA 1/12/3R	Fondo NEMA 1/12/3R (mm.)	Peso aprox. kg. NEMA 1 (mm.)
1	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2400	2550	2600	1600	1300
2	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de acoplamiento y tapas laterales.	2400	2550	3000	1600	1500
3	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de transición, 2 celdas de seccionador derivado sin apartarrayos y tapas laterales.	2400	2550	5400	1600	3000
4	Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2400	2550	1600	1600	1000
5	Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2400	2550	2000	1600	1200
6	Celda de acometida, celda de seccionador sin apartarrayos y tapas laterales.	2400	2550	1600	1600	950
7	Celda de acometida, celda de seccionador sin apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2400	2550	2000	1600	1150
8	Celda de seccionador sin apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2400	2550	1600	1600	950
9	Celda de seccionador sin apartarrayos y tapas laterales.	2400	2550	1200	1600	750
10	Celda de medición sin tapas laterales.	2400	2550	1400	1600	500
11	Celda de acoplamiento sin tapas laterales.	2400	2550	400	1600	200
12	Celda de acometida sin tapas laterales.	2400	2550	400	1600	200
13	Celda de seccionador sin apartarrayos y sin tapas laterales.	2400	2550	1200	1600	750

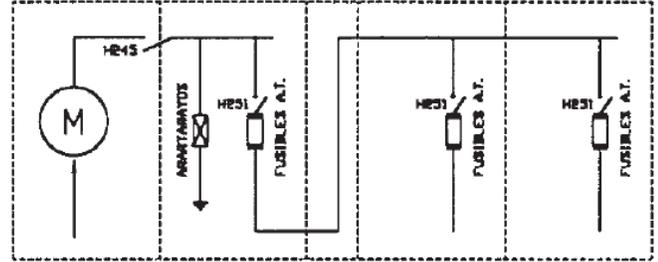
Arreglo No.1



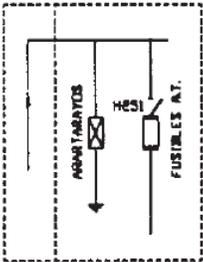
Arreglo No.2



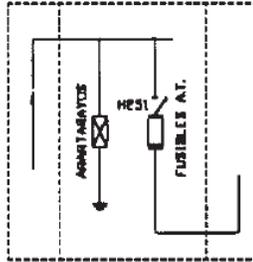
Arreglo No.3



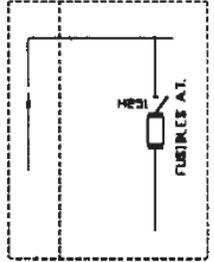
Arreglo No. 4



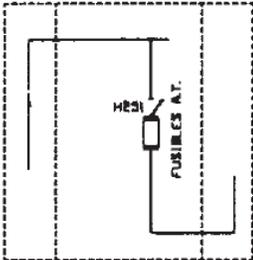
Arreglo No. 5



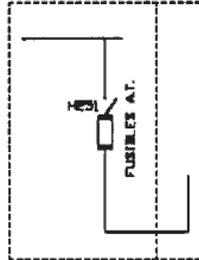
Arreglo No. 6



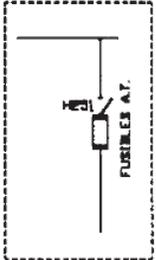
Arreglo No. 7



Arreglo No. 8



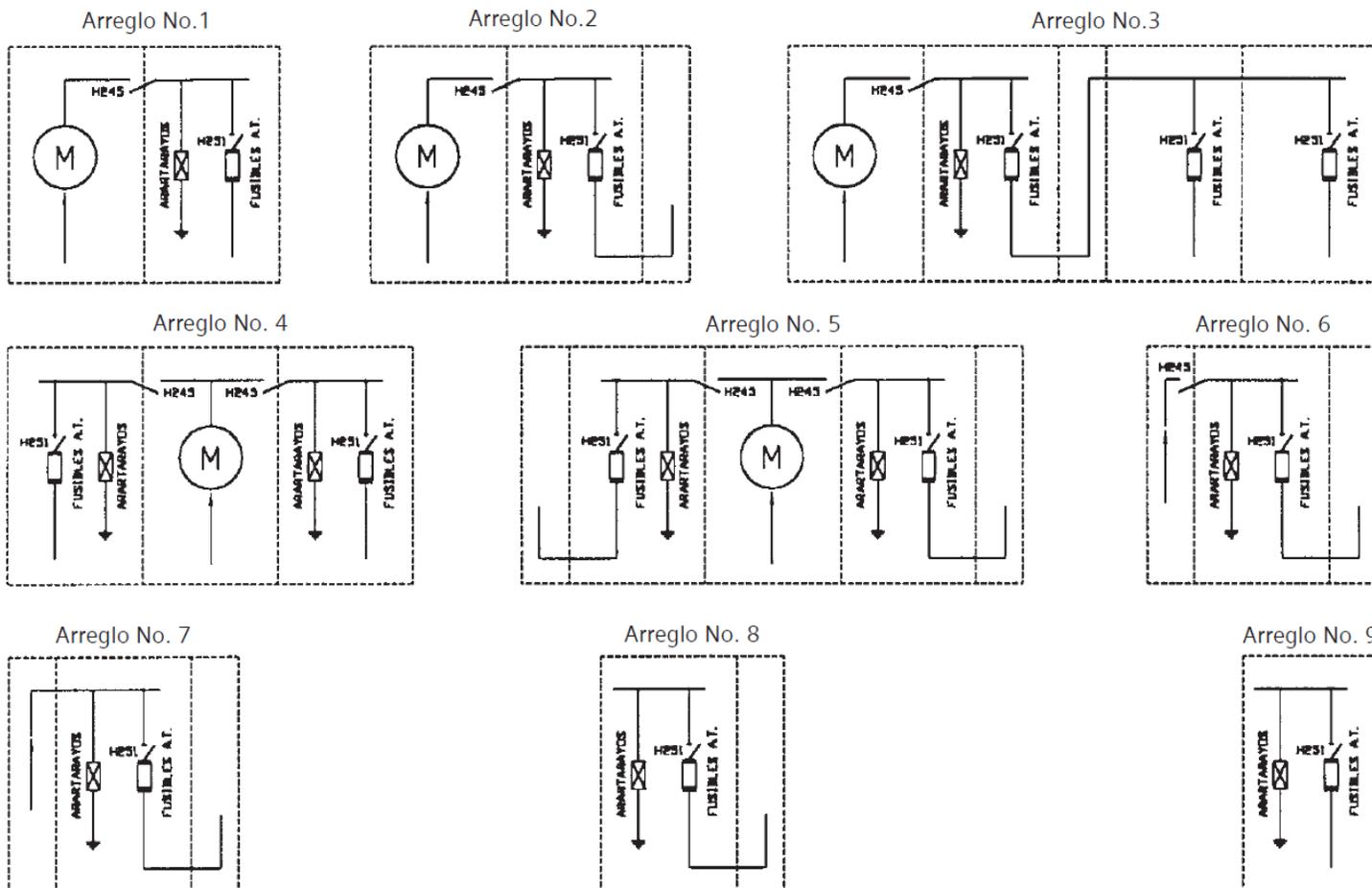
Arreglo No. 9



Arreglos de subestaciones Clase 35kV.

Con el pedido de la subestación podemos suministrar también el transformador y de esta manera nos aseguramos que el acoplamiento entre estos quede a la medida.

Número de arreglo	Componentes (celda y equipo)*	Alto NEMA 1/12 (mm.)	Alto NEMA 3R (mm.)	Frente NEMA 1/12/3R	Fondo NEMA 1/12/3R (mm.)	Peso aprox. kg. NEMA 1 (mm.)
1	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2900	3050	3300	1960	1200
2	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de acoplamiento y tapas laterales.	2900	3050	4200	1960	1700
3	Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de transición, 2 celdas de seccionador derivado sin apartarrayos y tapas laterales.	2900	3050	7500	1960	2800
4	Celda de seccionador con apartarrayos, cuchilla de paso entre celdas, celda de medición (al centro), cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2900	3050	4950	1960	2000
5	Celda de acoplamiento, celda de seccionador con apartarrayos, cuchilla de paso entre celdas, celda de medición (al centro), cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2900	3050	6750	1960	2400
6	Celda de acometida, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos , celda de acoplamiento y tapas laterales.	2900	3050	3450	1960	1100
7	Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2900	3050	3450	1960	1050
8	Celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.	2900	3050	2550	1960	800
9	Celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.	2900	3050	1650	1960	600
10	Celda de seccionador sin apartarrayos y tapas laterales.	2900	3050	1650	1960	600
11	Celda de medición.	2900	3050	1650	1960	500
12	Celda de acometida sin tapas laterales.	2900	3050	900	1960	200
13	Celda de acoplamiento sin tapas laterales.	2900	3050	900	1960	200



Datos importantes para presupuestar la subestación compacta correcta.

- Escoger el arreglo de acuerdo al proyecto tomando en cuenta el voltaje de media tensión.
- Definir si la subestación es con disposición derecha ó izquierda.
- Definir si se requiere plateado en las barras.
- En caso de requerir pintura diferente, favor de proporcionar el código de pintura RAL o ANSI.

- En caso de requerir un arreglo que no está aquí, no dudes en mandar tu diagrama unifilar para presupuestarlo.
- El diagrama unifilar de media tensión es muy importante para la selección del arreglo correcto para cada proyecto por lo que es importante tenerlo a la mano.

5.3 Generalidades del sistema de tierras en subestaciones eléctricas

El tratamiento para el sistema de puesta a tierra en subestaciones eléctricas es similar cuando ellas están ubicadas ya sea en un sistema de distribución, de transmisión o de generación de energía eléctrica. Generalmente, el objetivo primario para este tipo de instalaciones lo constituye el aspecto de seguridad, debido a las elevadas corrientes que pueden generarse ante una eventual falla del sistema.

Por lo tanto, los aspectos que deben analizarse en este tipo de estudios son los siguientes:

- 1) Límites para las tensiones de paso y de contacto que puedan afectar al ser humano o a seres vivos en general. Con esto se pretende asegurar que la persona en la vecindad del sistema de puesta a tierra no estará expuesta a condiciones de electrocución o daño que pueda poner en riesgo su vida.

2) Suministrar los medios para conducir las corrientes anómalas a tierra bajo condiciones normales y de falla sin exceder los límites de operación del sistema y del equipo involucrado que puedan afectar la continuidad del servicio

OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRAS

Bajo condiciones NORMALES de funcionamiento y de DEFECTO A TIERRA

Los principales objetivos a cumplir en las Instalaciones de puesta a tierra en las Centrales, Subestaciones y Centros de Transformación son:

1. Garantizar la seguridad y protección de las personas.
2. Proteger los equipos y las instalaciones.
3. Garantizar un camino rápido a las corrientes de defecto sin exceder los límites de operación de la red eléctrica.

Perturbaciones del sistema:

- Descargas atmosféricas.
- Faltas trifásicas asimétricas.
- Transitorios



Sobreintensidades de valor elevado
(corrientes de falta o defecto)

En forma práctica, los controles que deben existir para garantizar la seguridad del sistema de puesta a tierra deben realizarse en los siguientes elementos:

1) La puesta a tierra intencional, que consiste de los electrodos y conductores enterrados a una cierta profundidad.

2) La puesta a tierra accidental, temporalmente establecida por una persona expuesta al gradiente de potencial en la vecindad del sistema de puesta a tierra.

PARTES QUE COMPONEN LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **La Tierra (terreno)**

- Se considera a potencial cero.
- Proporciona el camino de dispersión de las corrientes de falta o defecto.
- Se caracteriza por su resistividad " ρ " → (naturaleza del terreno).

- **Electrodos de puesta a tierra**

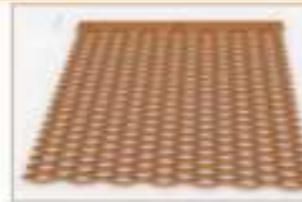
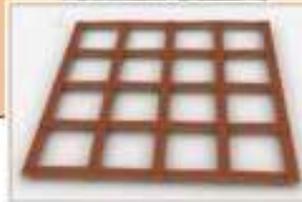
- Pueden ser de Cobre, Aluminio o Acero, (Generalmente de cobre)
- Deben mejorar la equipotencialidad del suelo evitando que se produzcan gradientes de tensión elevados.
- Estarán constituidos por una malla (tierras inferiores) enterrada a una determinada profundidad que permita reducir las tensiones de paso y contacto a niveles admisibles (Según MIE.RAT-13, pto 1.1)

Elementos que componen las instalaciones de puesta a tierra:

- **Electrodos de puesta a tierra**

- Estarán constituidos por:

- Picas
- Cables
- Placas
- Mallazos
- Barras químicas



- **Arquetas y registros**



- **Uniones:**

Soldaduras aluminotérmicas (Cadmeld)



TIPOS DE PUESTA A TIERRA SEGÚN SU FUNCIÓN

Según la MIE.RAT-13 y atendiendo a la función que desempeñan se distinguen:

- Tierras de PROTECCIÓN.
- Tierras de SERVICIO.

Tierras de PROTECCIÓN:

Une todas las partes metálicas de una instalación que no están en tensión normalmente, pero que pueden estarlo como consecuencia de averías, descargas atmosféricas o sobretensiones. Se unirán a la malla metálica (al menos dos conductores).

Se conectarán a la tierra de protección:

- Chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Bastidores de armarios metálicos.
- Puertas metálicas, vallas y cercas metálicas, columnas, bastidores, pórtico, etc.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que alberguen instalaciones.
- Hilos de guarda, blindajes de los conductores.
- Carcasa de los transformadores,...



Tierras de SERVICIO:

Conectarán directamente los siguiente elementos:

- Neutros de transformadores de potencia o redes con neutro.
- Circuitos de B.T. de los transformadores de medida.
- Dispositivos de protección de sobretensiones y/o descargas atmosféricas; limitadores, descargadores, autoválvulas, etc.
- Seccionadores de PaT.

Se unirán a la malla metálica (sin uniones desmontables).

Puede ser: Directa: conexión a tierra sin ningún elemento.

Indirecta: a través de resistencias o impedancias limitadoras

Las tierras de PROTECCIÓN y de SERVICIO estarán unidas a la misma malla de tierras inferiores, constituyendo un único sistema de puesta a tierra general (Sistema de tierras interconectadas)

Tierras de TRABAJO O MANTENIMIENTO:

Para la protección del personal en operaciones de mantenimiento o reparaciones.



Nuevamente, aquí es importante indicar que el concepto de que cualquier electrodo enterrado constituye un sistema de puesta a tierra de alta calidad resulta ser una práctica peligrosa, siendo la causante de pérdidas humanas, ya que una baja resistencia de puesta a tierra no garantiza, por sí sola, ser un medio de seguridad. No existe una simple relación entre la resistencia de puesta a tierra del sistema y la corriente máxima a la cual la persona puede estar expuesta. Por lo tanto, una subestación con una elevada resistencia de puesta a tierra y con un diseño adecuado y optimizado puede ser más segura que otra con un valor menor de resistencia pero con un diseño inadecuado.

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

El MIE-RAT-13 establece como de obligado cumplimiento a fin de garantizar la seguridad y protección de las personas y equipos las siguientes prescripciones básicas referentes a:

- Corrientes tolerables por el cuerpo humano (UNE-IEC/TS 60479-1).
- Tensiones máximas aplicables al cuerpo humano.
- Dimensionamiento.

Corrientes tolerables por el cuerpo humano:

Se considera que un valor seguro para un corazón sano es de $I < 25 \text{ mA}$ con tiempos de aplicación de 0.03 a 3 sg

El diseño de la puesta a tierra debe garantizar que no se alcancen.

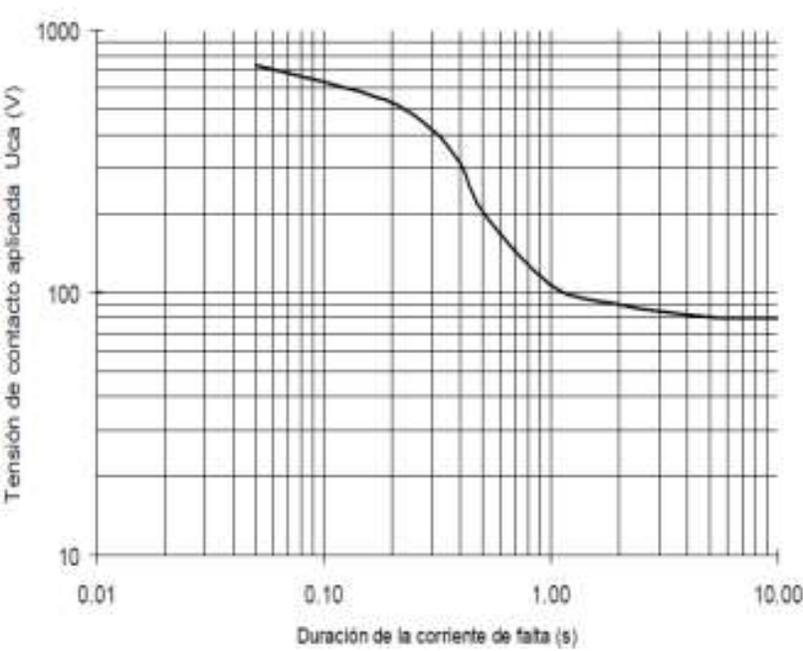
Tensión de contacto aplicada admisible (valor máximo), U_{ca} :

Valores máximos de U_{ca} a los que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

Tensión de contacto aplicada admisible

Según RCE - 2014
Tensión de contacto aplicada admisible (valor máximo), U_{ca} :
La tensión máxima de contacto aplicada aceptable, en función de la duración de la falta:



Duración de la corriente de falta, t_f (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA. Según MIE.RAT-13

Procedimiento de DISEÑO del sistema de puesta a tierra. Según MIE.RAT-13

El MIE-RAT-13 en el pto. 2 establece el procedimiento para la elaboración del proyecto. Se realizará teniendo en cuenta las tensiones máximas aplicadas:

1. Investigación de las características del suelo.
2. Determinación de las corrientes máximas de PaT y del tiempo máximo de eliminación del defecto.
3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.
4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.
5. Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación.
6. Cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación.
 - Por UNE, IEEE Std 80-2000 (valores teóricos reales)
 - Por MIE.RAT-13 (valores máximos admisibles)

El proyectista de la instalación de tierra deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo sancionado por la práctica que los valores de las tensiones de contacto U'_c , y de paso, U'_p , que calcule para la instalación proyectada en función de la geometría de la misma, de la corriente de puesta a tierra que considere y de la resistividad correspondiente al terreno, no superen en las condiciones más desfavorables las calculadas por las fórmulas (1) y (2) en ninguna zona del terreno afectada por la instalación de tierra.

UNE-EN 50522: Puesta a tierra en instalaciones de tensión superior a 1 KV en corriente alterna.

UNE-EN 60909: Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna.

IEEE Std 80-2000: Working Group D7, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding "IEEE Std 80-2000), New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, August 2000.

7. Comprobar que las tensiones de paso y contacto calculadas en los puntos 5º y 6º son inferiores a los **valores máximos admisibles** definidos por MIE.RAT-13:

- Tensión de Paso:
$$U_p = U_{pa} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_B} \right] = 10U_{ca} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{1000} \right]$$
- Tensión de Contacto:
$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2Z_B} \right] = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + 1,5\rho_S}{1000} \right]$$

8. Investigación de las tensiones transferibles al exterior por las tuberías, railes, vallas, conductores de neutro, blindajes de cables de circuitos de señalización y de puntos especialmente peligrosos, y estudio de las formas de eliminación y reducción.
9. Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

Sistema de puesta a tierra en subestaciones Metal Clad

Este tipo de subestaciones tiene la característica de estar formada por módulos con el objeto de aislar todos los componentes, tales como instrumentación, bus principal y entradas y salidas.

Contiene generalmente todos los controles asociados tales como control, instrumentación, medición, relevadores, protección y dispositivos de regulación. Desde el punto de vista de puesta a tierra, ésta se encuentra incluida en la subestación eléctricamente conectada junto con las estructuras de los módulos en los cuales se encuentran ubicados los dispositivos o equipos primarios.

Es necesario que en todos los puntos de conexión entre el bus de tierra y el cuerpo del ensamblaje se retiren todos los aislamientos o recubrimientos no conductivos, tales como pintura, con el objeto de asegurar una continuidad eléctrica.

El bus de tierra para cada grupo debe tener facilidades de conexión para otros elementos necesarios dentro o fuera de la subestación. Las conexiones al bus de

puesta a tierra deben realizarse de tal manera que no sea necesario abrir el bus de puesta a tierra para retirar alguna conexión hecha en el bus de puesta a tierra.

Las conexiones a tierra deben realizarse para todos los elementos que puedan ser retirados (no fijos) para asegurar los marcos y mecanismos correspondientes siguen conectados a tierra hasta que el circuito primario y el elemento removible es colocado a una distancia de seguridad.

Cuando se ubiquen envolventes de instrumentación, medición, relevadores y equipo similar, debe asegurarse la correcta conexión a tierra al bus de puesta a tierra.

Debe asegurarse la correcta conexión del bus principal de puesta a tierra de la subestación con la red de puesta a tierra, por lo menos en dos puntos diferentes, con el objeto de asegurar continuidad en caso de la pérdida de uno de los conductores de conexión.

FUENTES

<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/en-des-educacion/recursos/subestaciones-electricas>

<https://rte.mx/tipos-de-subestaciones-electricas>

[https://ingenieriadesubestaciones.com/tipos-de-subestaciones-electricas/#4-](https://ingenieriadesubestaciones.com/tipos-de-subestaciones-electricas/#4-Subestaciones-Electricas-por-su-aislamiento)

[Subestaciones Electricas por su aislamiento](#)

<https://jdelectricos.com.co/tipos-de-subestaciones-electricas/>

<https://equipoymaterialelectrico.com/subestacion-electrica/arreglos-y-secciones-subestaciones/>

<https://es.linkedin.com/pulse/arreglos-de-barras-las-subestaciones-electricas-chinchilla-contreras>

<https://www.faradayos.info/2018/01/tipos-configuracion-subestaciones-electricas-arreglos.html>

<http://www.totalground.com/archivos/Capacitacion/Conceptos%20Generales/Info%20Adicional/GENERALIDADES.pdf>

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75509/PRACTICA%20AT_RiuNET%20en1.pdf?sequence=1

https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pea0NRF_011_Sistema_de_Tierra_Plantas_y_Subestaciones.pdf