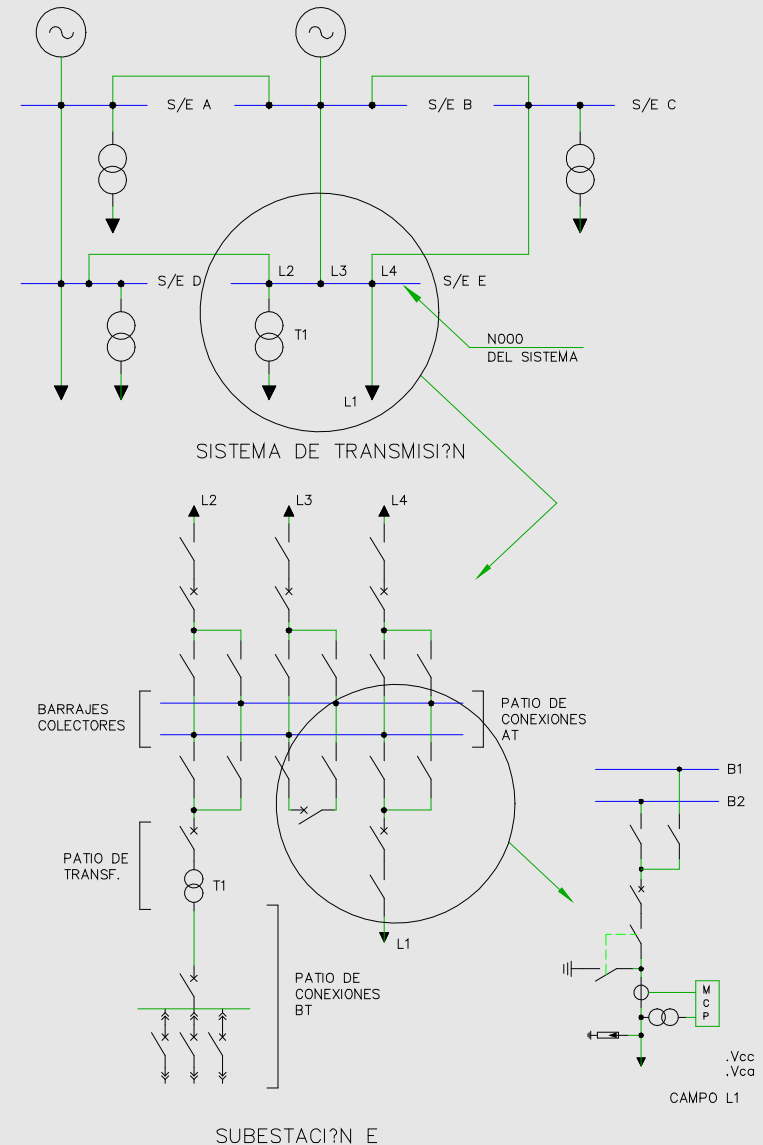


Subestaciones Eléctricas

Definiciones, tipos y configuraciones

Definición

- Una subestación es el desarrollo e implementación de un nodo del sistema.
- Conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de control y protección y para redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas.



Equipos en una subestación

Interruptor:

- **Maniobra:**
 - Control de flujo
 - Aisla para mantenimiento o trabajos
- **Protección:**
 - Aisla elementos con falla (capaz de operar con I_{cc})

Transformadores de instrumentación: interfaz entre la alta tensión y los equipos de medida, control y protección.

- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión

Seccionadores:

- Aislan para mantenimiento
- Operan sin carga

Pararrayos: Protección contra sobretensiones

Sistema de medida, protección y control

Sistemas auxiliares

Equipos en una subestación



Patio de conexiones

Conjunto de equipos y barrajes de una subestación que tienen el mismo nivel de tensión y que están eléctricamente asociados.

Generalmente ubicados en la misma área de la subestación.



Patio de transformadores

Área de la subestación en donde se ubican los transformadores de potencia. Generalmente entre patios de conexión de diferente niveles de tensión.



Lote de una subestación

El lote de la subestación es el conformado por las áreas de los patios de conexión y transformación, vías de circulación y mantenimiento, edificaciones, etc.



El lote se debe "urbanizar" en forma óptima para obtener el mejor aprovechamiento de las áreas constitutivas sin que existan interferencias entre los patios, accesos de líneas, vías de circulación, así como durante el montaje, la operación y mantenimiento de la subestación, ampliaciones, etc.

Otras definiciones

■ Campo (bahía o módulo) de conexión

- Es el conjunto de equipos necesarios para conectar un circuito (generación, transformación, interconexión o distribución, equipo de compensación, etc) al sistema de barrajes colectores de un patio de conexiones.

■ Barrajes colectores

- Elemento físico de un patio de conexiones que representa el nodo del sistema, es decir, el punto de conexión en donde se unen eléctricamente todos los circuitos que hacen parte de un determinado patio de conexiones.

■ Disposición física

- Es el ordenamiento físico de los diferentes equipos constitutivos de un patio de conexiones para una configuración determinada.

Tipos de subestación

■ Subestación de generación

- Asociadas a centrales generadoras. Dirigen directamente el flujo de potencia al sistema.

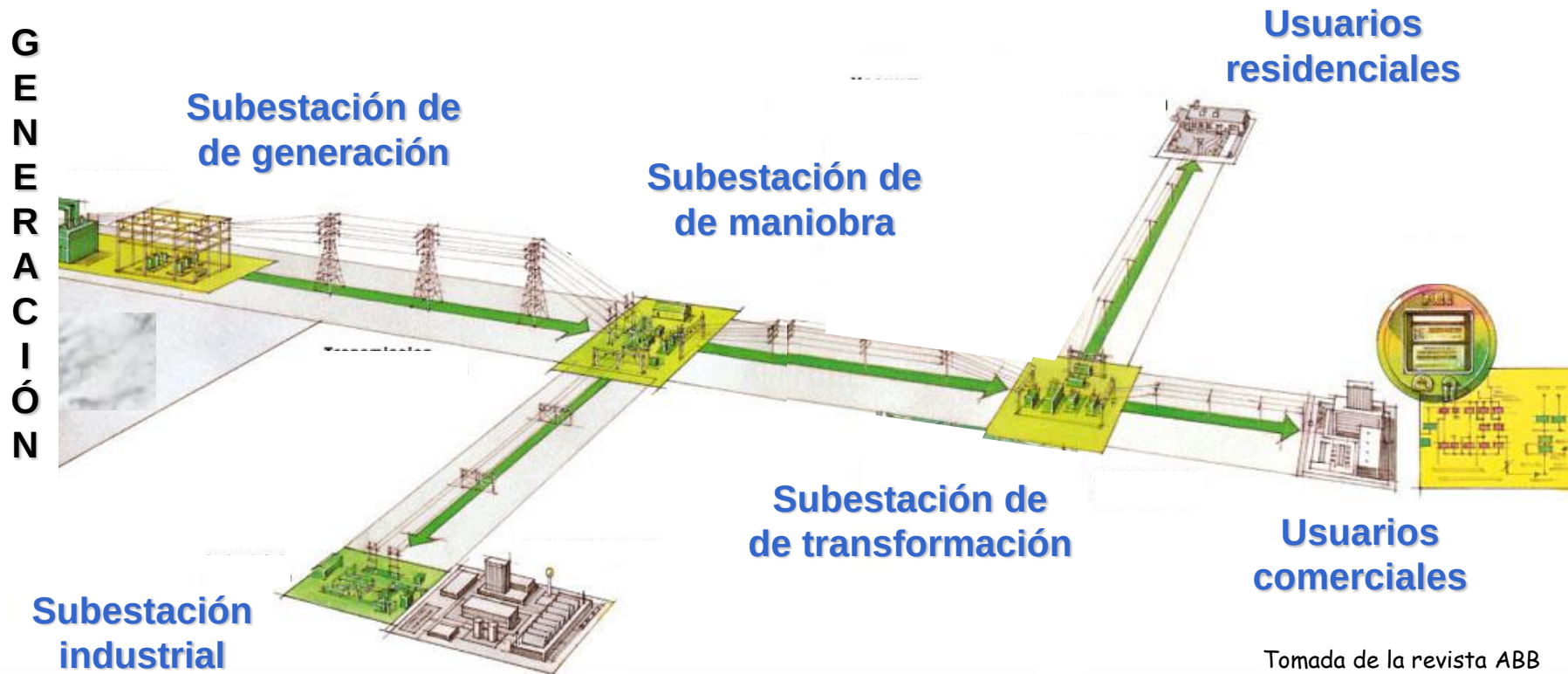
■ Subestación de transformación

- Con transformadores elevadores o reductores (pueden ser terminales o no).

■ Subestación de maniobra

- Conectan varios circuitos (o líneas) para orientar o distribuir el flujo de potencia a diferentes áreas del sistema.

Tipos de subestación

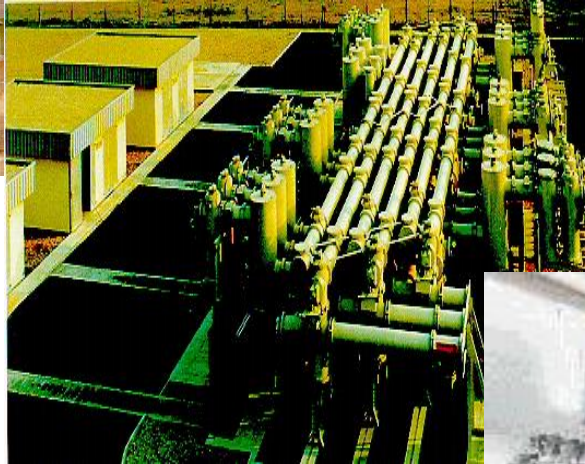


Tipos de subestación

- Las subestaciones también pueden ser:
 - Convencionales o aisladas al aire - AIS
 - Encapsuladas o aisladas en SF6 - GIS
 - Y a su vez éstas pueden ser de ejecución interior o exterior
 - También celdas para subestaciones de media y baja tensión



Convencionales o aisladas
al aire - AIS



Encapsuladas o aisladas
en SF6 - GIS

Exterior



Interior

Tipos de
subestación

celdas para subestaciones
de media y baja tensión



Configuración de una subestación

- Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones, o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, efectuado de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad y flexibilidad de manejo, transformación y distribución de energía.
- Cada punto (o nodo) en el sistema tiene diferentes requerimientos de confiabilidad, seguridad y flexibilidad y cada configuración brinda diferentes grados de estas características.

Tipos de configuración

Tendencia europea - Conexión de seccionadores

- Son aquellas en las cuales cada circuito tiene un interruptor, con la posibilidad de conectarse a una o más barras por medio de seccionadores:
 - Barra sencilla
 - Barra principal y de transferencia
 - Doble barra
 - Doble barra más seccionador de "by pass" o paso directo
 - Doble barra más seccionador de transferencia
 - Doble barra más barra de transferencia

SUBESTACIONES CON ARREGLO SENCILLO DE BARRAS.

Por su simplicidad, este arreglo es el más económico, pero carece de los dos principales defectos, que son:

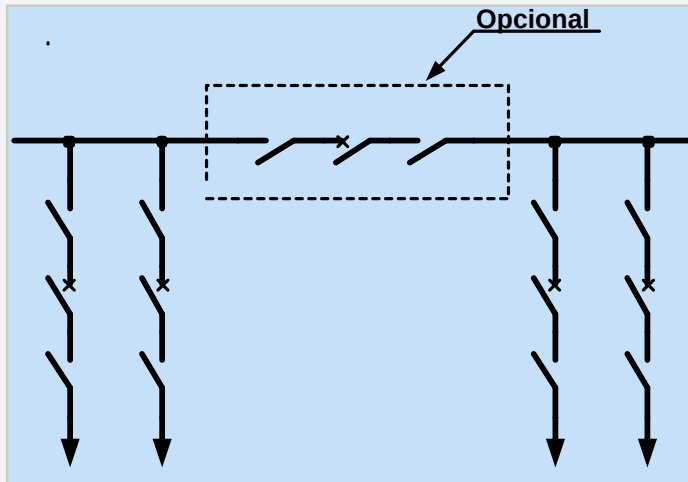
- a) No es posible realizar el mantenimiento sin la interrupción del servicio.
- b) No es posible una ampliación de subestación sin interrumpir el servicio.

El número de circuitos que se vea afectado por cualquiera de las razones anteriores, se puede reducir seccionando la barra, e inclusive formando anillos,

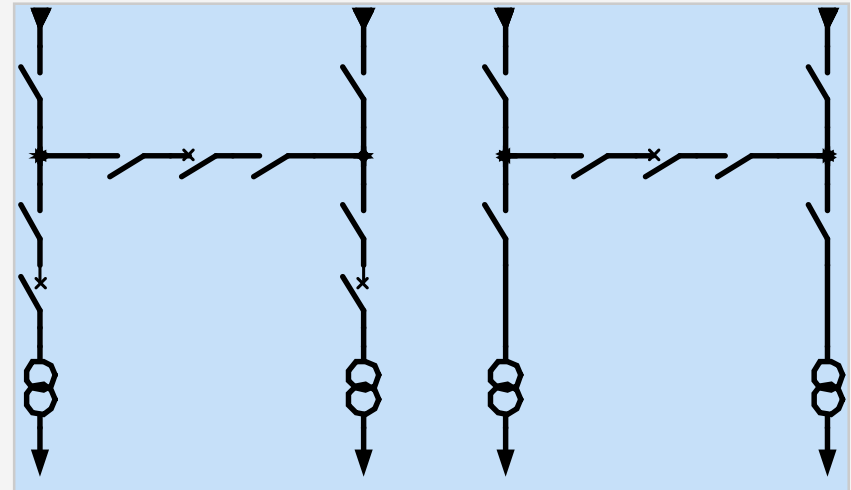
Este arreglo tiene la limitante de que toda la subestación queda fuera de servicio cuando ocurre una falla en las barras principales.

Tipos de configuración

Tendencia Europea



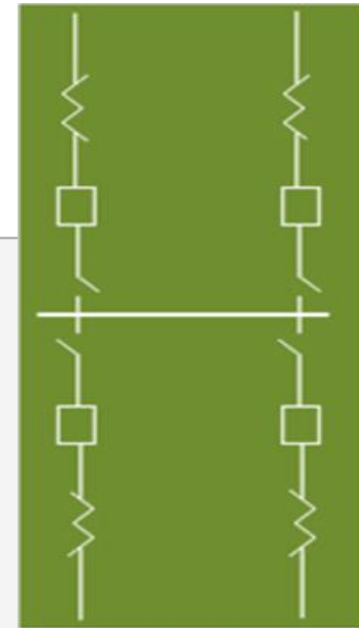
Barra sencilla



Configuración en "H"

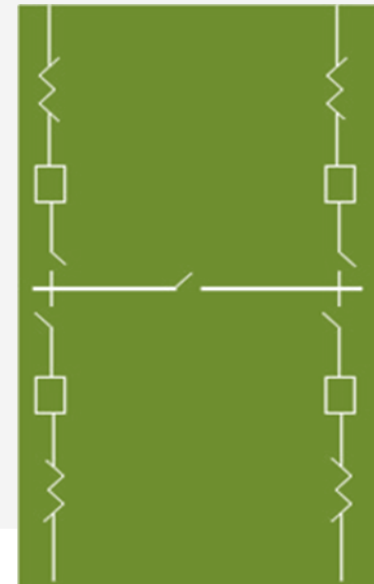
Barra sencilla

Es la configuración más sencilla, por tanto la más económica. En condiciones normales de operación, todas las líneas y transformadores están conectados a un solo juego de barras. Con esta configuración en caso de operar alguna protección queda desenergizada toda la subestación; para realizar el mantenimiento de algún elemento es necesario desenergizar parte de la subestación.



Barra sencilla particionada

Tiene la ventaja de que si se presenta alguna falla, puede seguir funcionando la mitad de la subestación. Esta configuración implica un seccionador mas, pero hace más confiable el sistema.



SUBESTACIÓN CON BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA.

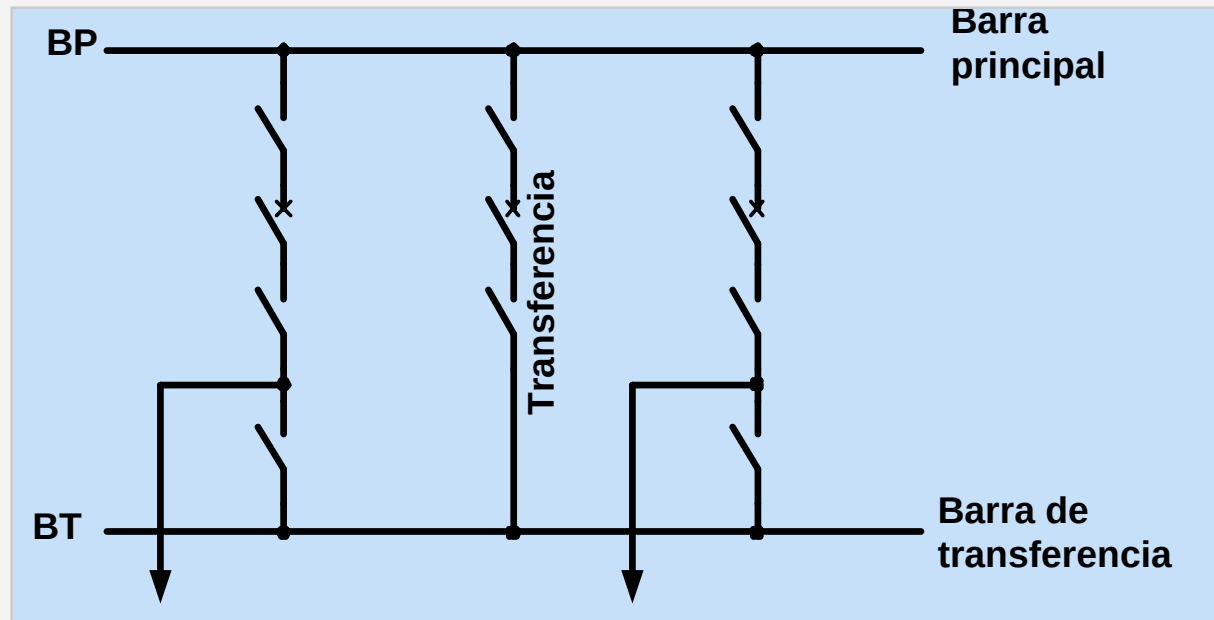
Esta es una variante del doble juego de barras; la llamada barra de transferencia, se usa únicamente como auxiliar, cuando se efectúa el mantenimiento en el interruptor de línea, de manera que el interruptor se puede desconectar en ambos extremos, mientras la línea o alimentador permanece en el servicio.

COMPARACIONES DE CONFIABILIDAD.

Se han comparados los diversos esquemas para hacer resaltar sus ventajas y desventajas. La base de comparación que se utiliza es la justificación económica de un grado particular de confiabilidad. La determinación del grado de confiabilidad requiere de una evaluación de condiciones anticipadas de operación y la continuidad del servicio requerida por la carga a la que haya de servir.

Tipos de configuración

Tendencia Europea (continuación)



Barra principal y de transferencia

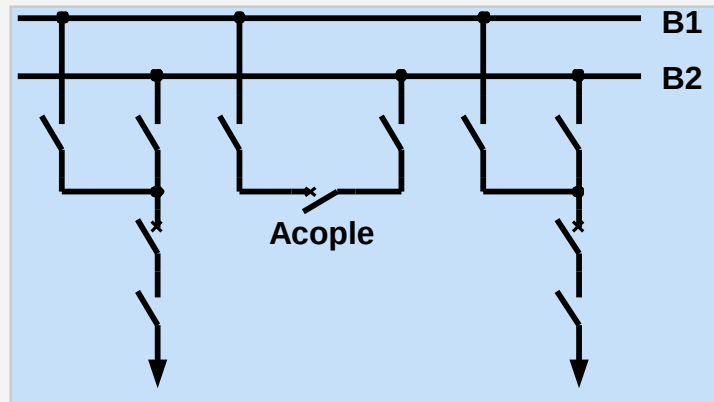
SUBESTACIONES CON DOBLE JUEGO DE BARRAS.

Se usan dos juegos de barras idénticas, uno se puede usar como repuesto del otro, con este arreglo se puede garantizar que no existe interrupción de servicio; en el caso de que falle uno de los juegos de barras además de que:

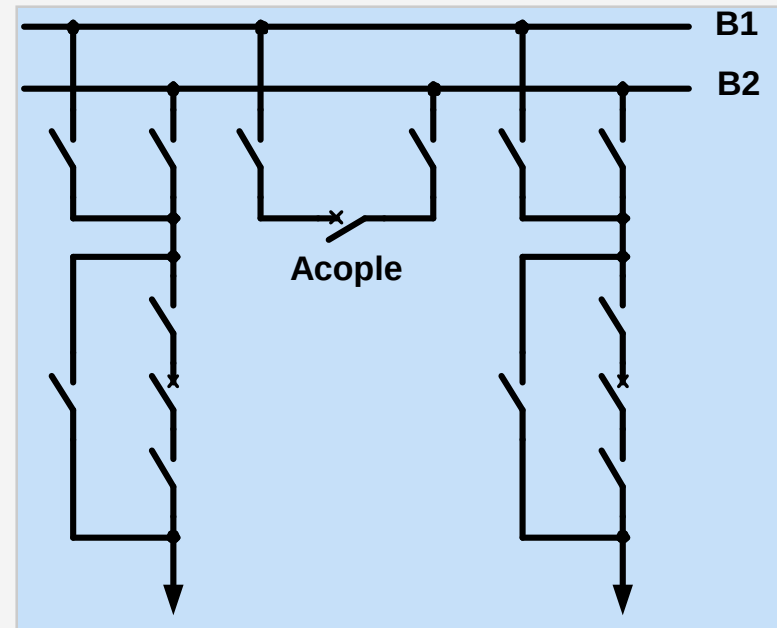
1. Se puede independizar el suministro de cargas, de manera que cada carga, se puede alimentar de cada juego de barras.
2. Cada juego de barras, se puede tomar por separado para mantenimiento y limpieza de aisladores, sin embargo, los interruptores, no están disponibles para mantenimiento sin que se desconecten la barras correspondientes.
3. La flexibilidad en operación normal, se puede considerar como buena.
4. Este arreglo se recomienda adoptarlo cuando la continuidad en el suministro de la carga, justifica costos adicionales.

Tipos de configuración

Tendencia Europea (continuación)



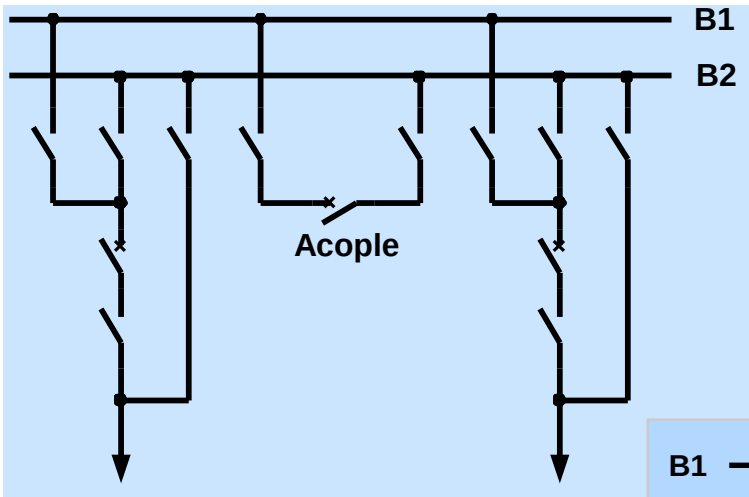
Doble barra



Doble barra más seccionador de "By-Pass" o paso directo

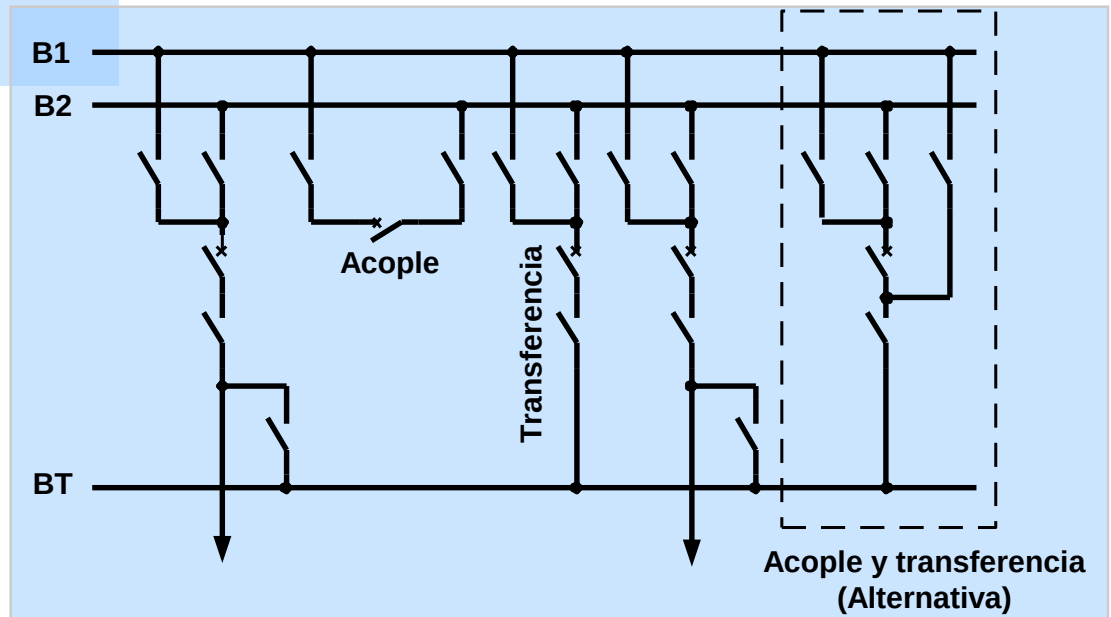
Tipos de configuración

Tendencia Europea (continuación)



Doble barra más
seccionador de
transferencia

Doble barra más barra
de transferencia



Configuración doble barra

Está constituido por dos (2) barras principales, las cuales se acoplan entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados.

Ventajas:

Las labores de mantenimiento pueden ser realizadas sin interrupción del servicio.

Facilita el mantenimiento de seccionadores de barra, afectando únicamente el tramo asociado.

Desventajas:

La realización del mantenimiento en un disyuntor de un tramo, requiere la salida del tramo correspondiente.

Requiere de gran espacio físico para su construcción.

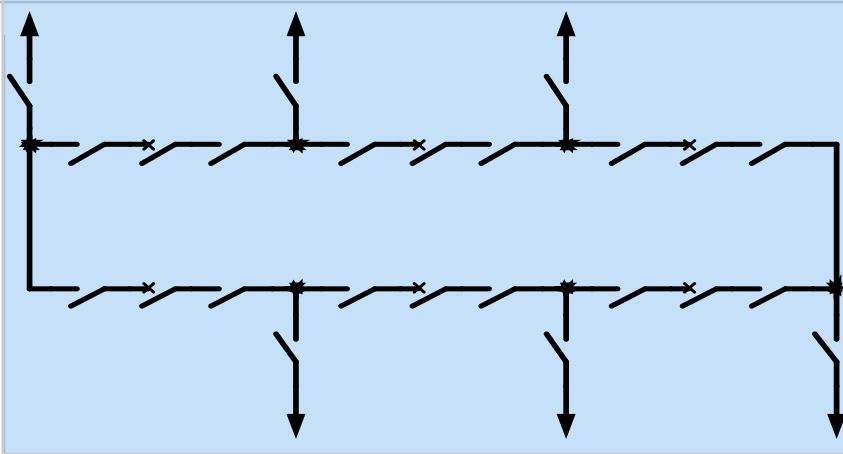
Tipos de configuración

Tendencia americana - Conexión de interruptores

- Son aquellas en las cuales los circuitos se conectan a las barras o entre ellas, por medio de interruptores:
 - Anillo
 - Interruptor y medio
 - Doble interruptor

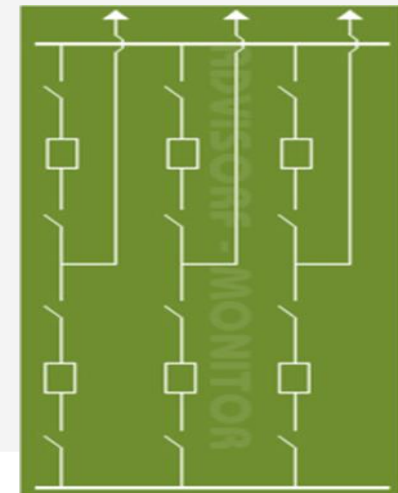
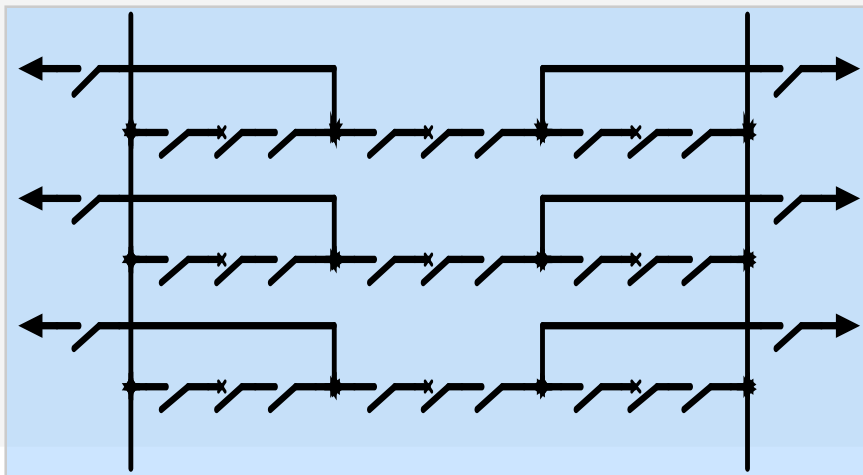
Tipos de configuración

Tendencia Americana



Anillo

Interruptor y medio



Configuración interruptor y medio

Constituido por dos (2) barras principales interconectadas a través de dos (2) tramos de disyuntor y medio (1-1/2) a los cuales las salidas están conectadas.

Ventajas:

No necesita tramo de enlace de barra.

El mantenimiento de un disyuntor se puede realizar sin sacar de servicio el tramo correspondiente.

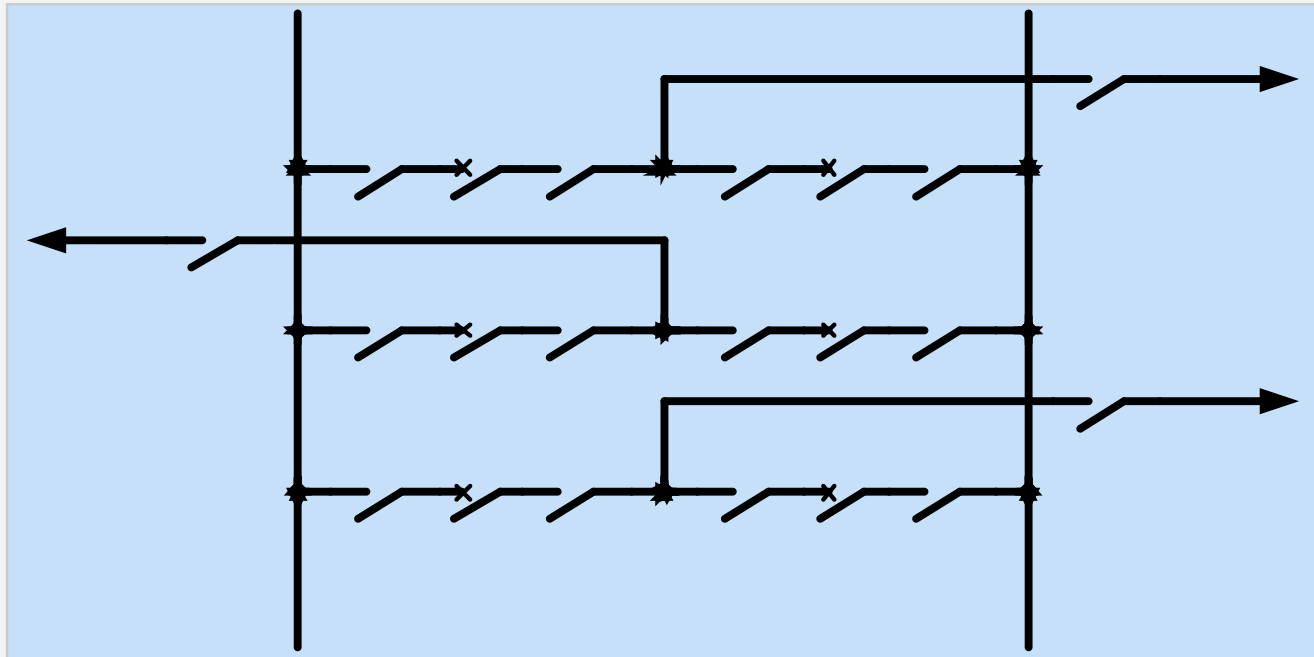
Desventajas:

Para la realización del mantenimiento de los seccionadores conectados directamente al tramo, es necesario dejar fuera de servicio el tramo correspondiente.

Requiere gran espacio físico para su construcción.

Tipos de configuración

Tendencia Americana (continuación)

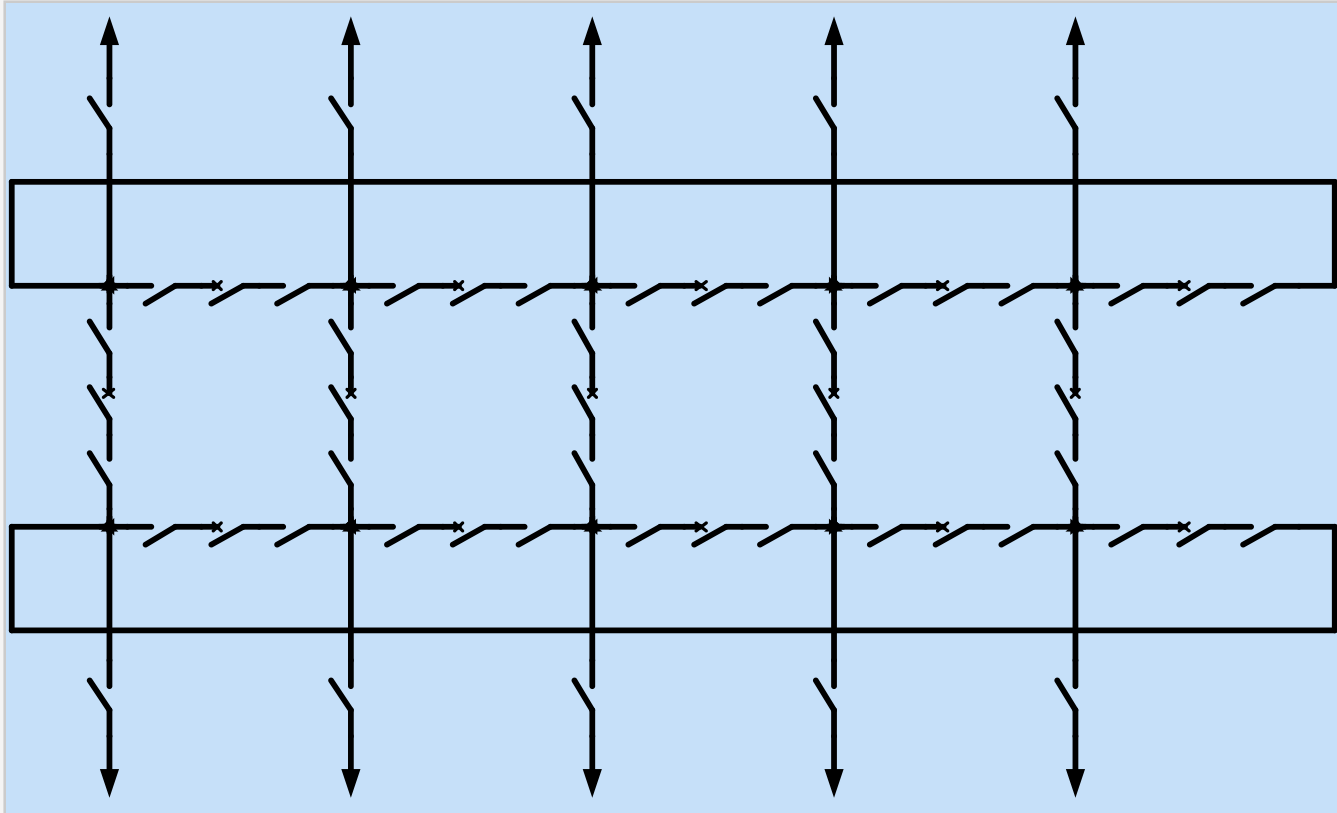


Doble barra con doble interruptor

Otras configuraciones

- Anillo cruzado
- Interruptor y tres cuartos
- Malla

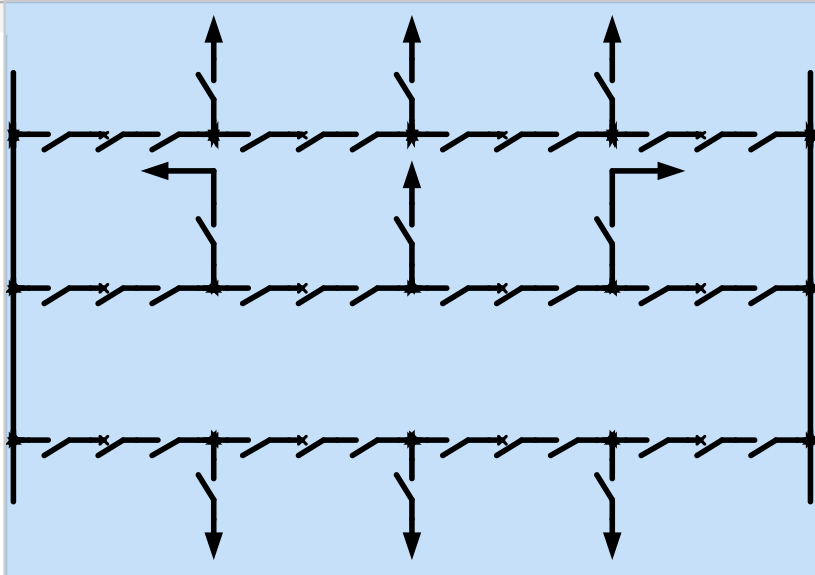
Otras configuraciones



Anillo cruzado

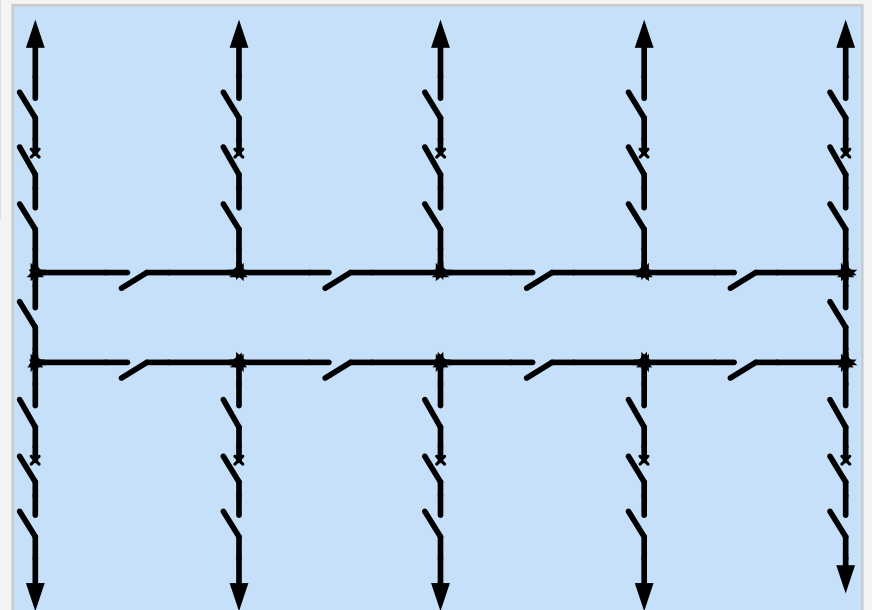
Otras configuraciones

Continuación



Malla

Interruptor y tres cuartos



USO DE LAS PRINCIPALES CONFIGURACIONES

Configuraciones

Tendencia Europea

Cada circuito tiene un interruptor, con la posibilidad de conectarse a una ó más barras por medio de seccionadores.

- Barra Sencilla
- Barra Principal y Barra de Transferencia
- Doble Barra
- Doble Barra mas by Pass
- Doble Barra mas Barra de Transferencia

Tendencia Americana

Los circuitos se conectan a las barras ó entre ellas por medio de interruptores.

- Anillo
- Interruptor y Medio
- Doble Barra con Doble Interruptor

Consideraciones en la selección de la configuración de una subestación

- Función que desempeña la subestación en el sistema interconectado para determinar su necesidad de flexibilidad, confiabilidad y seguridad.
- Tipo de subestación (generación, transformación o maniobra)
- Conocer las características de la configuración
- Facilidades de extensión y modulación
- Simplicidad en el control y protección
- Facilidad en el mantenimiento
- Área disponible
- Costos

Selección de la configuración

1. Función que desempeña la subestación en el sistema

Flexibilidad

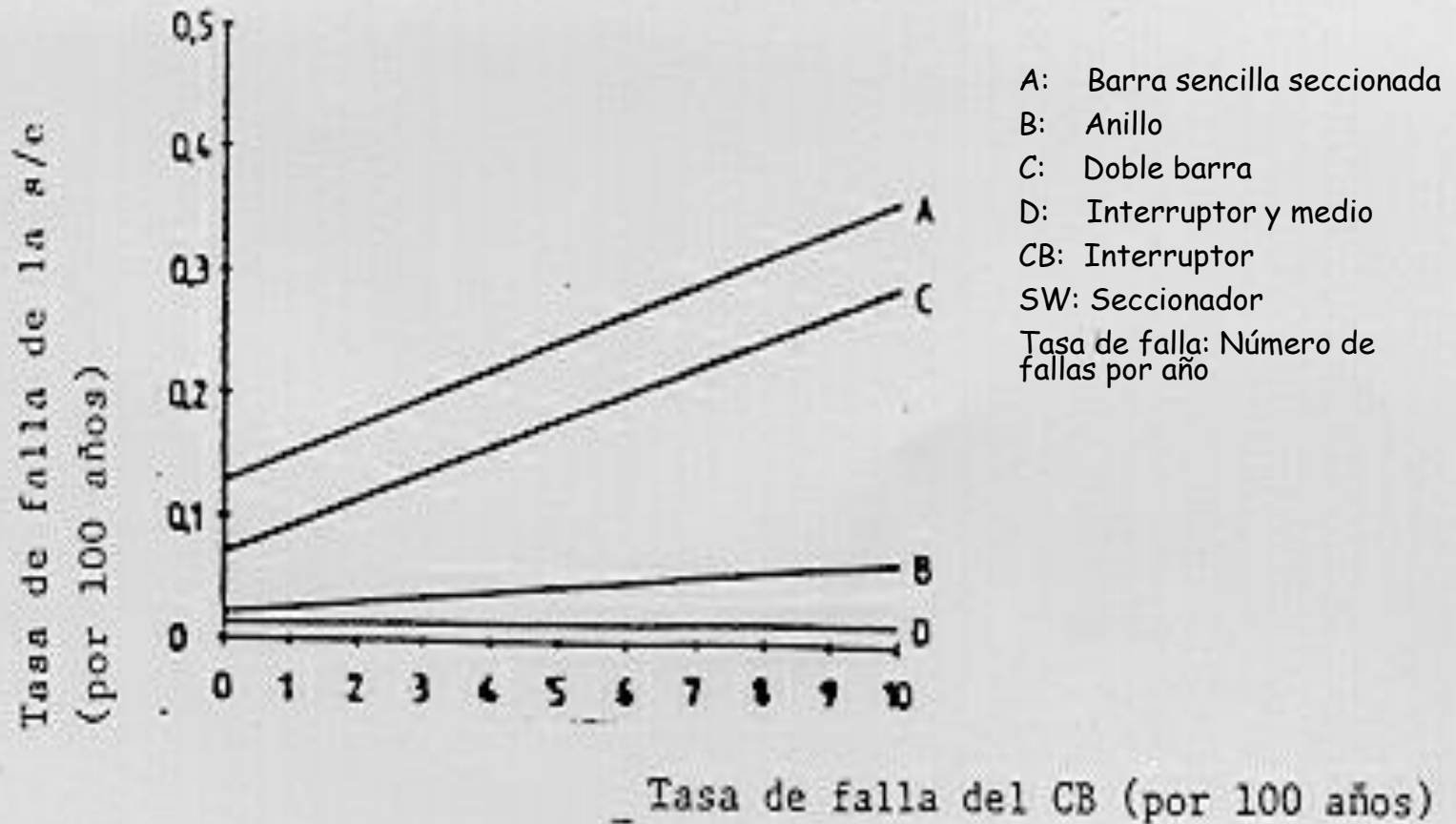
- Es la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar por cambios operativos en el sistema, y además por contingencias y/o mantenimiento del mismo.
- Control de potencia reactiva para optimizar cargas en generadores
 - Limitar niveles de corto
 - Estabilidad en el sistema
 - Independizar o limitar influencia de cargas
 - Varias compañías en una misma subestación

Función que desempeña la subestación en el sistema

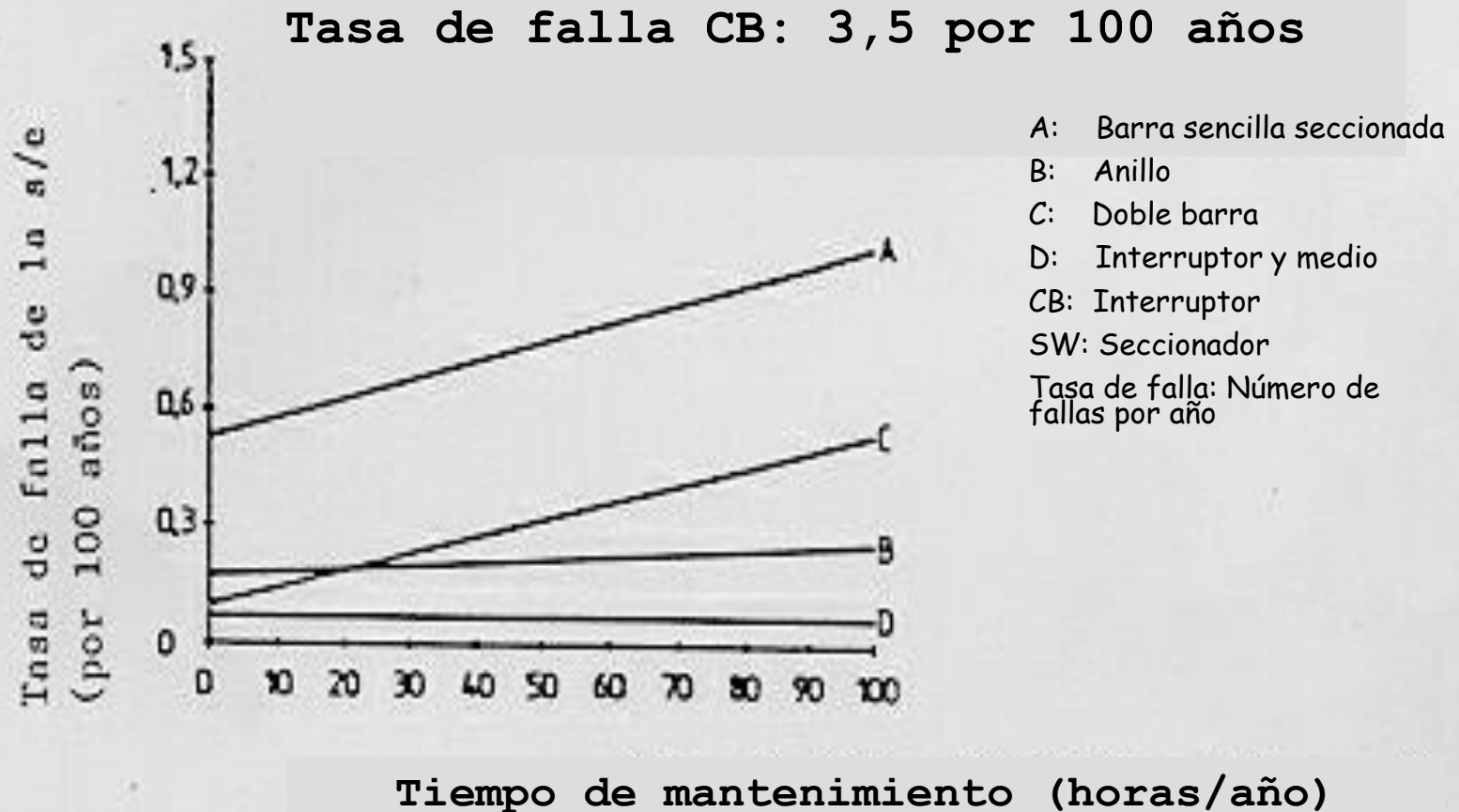
Confiabilidad

- Es la probabilidad de que una subestación pueda suministrar energía durante un periodo de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación no pueda repararse durante la operación.
 - Diferentes artículos y revistas incluyen cifras o gráficas que permiten hacer comparaciones, como gráficas del CIGRE en revista ELECTRA No. 65
 - Programas de computador para definir la confiabilidad con tasas de frecuencia y duración de fallas.

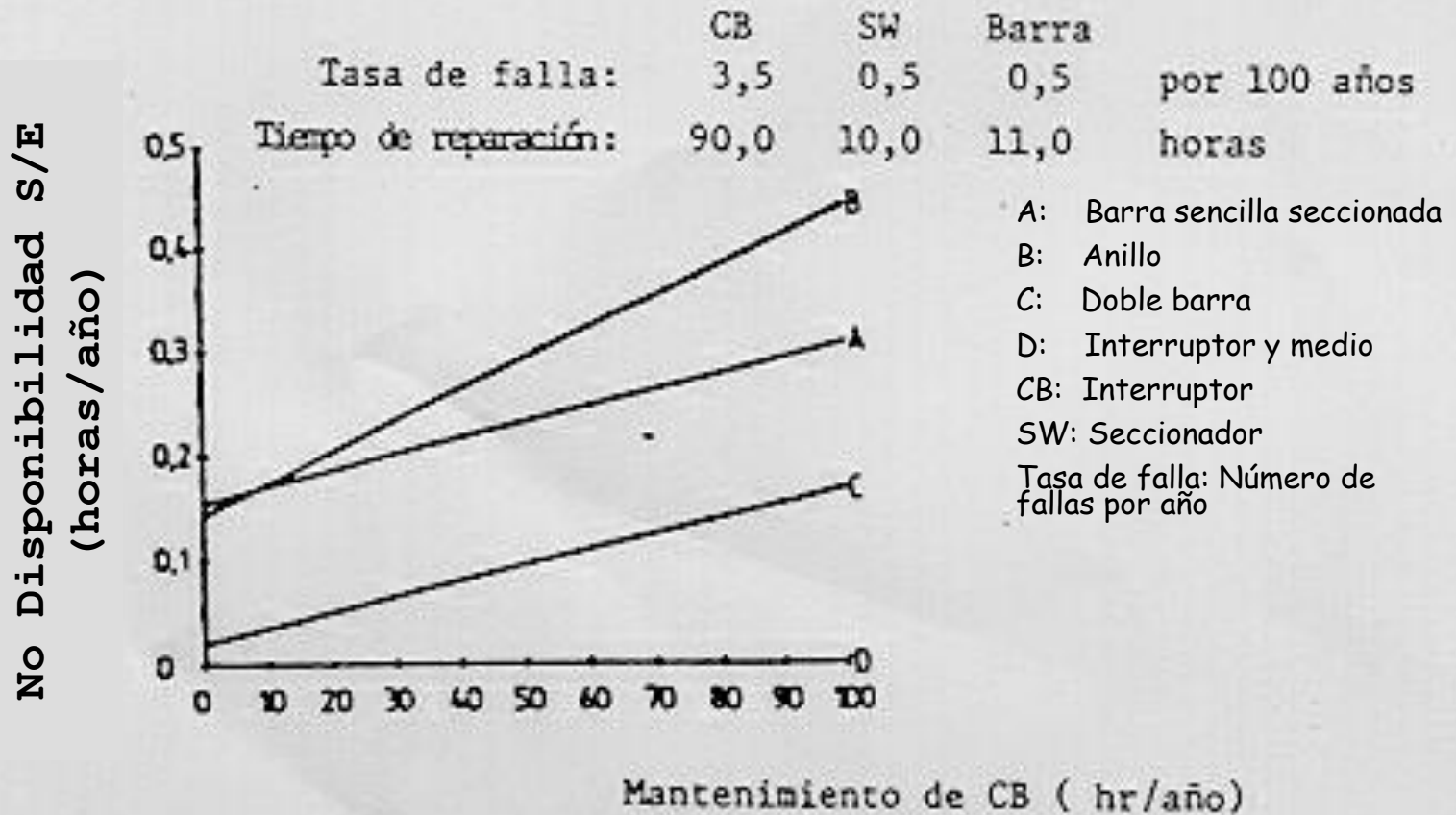
Tasa de falla de una subestación de distribución en función de la tasa de falla de los interruptores



Tasa de falla de una subestación de distribución teniendo en cuenta el tiempo de mantenimiento de los interruptores



No disponibilidad de una subestación de transmisión en función del tiempo de mantenimiento de los interruptores



Función que desempeña la subestación en el sistema

Seguridad

- Es la propiedad de una instalación para dar continuidad de servicio sin interrupción alguna durante fallas en los equipos de potencia, especialmente interruptores y barras.

Selección de la configuración

2. Tipos de subestación

Generación

- Requiere principalmente confiabilidad
- La seguridad y la flexibilidad pueden ser requerimiento adicional, dependiendo de la importancia y ubicación de la subestación en el sistema.

Maniobra

- Requiere principalmente flexibilidad

Transformación

- Requiere principalmente confiabilidad
- La seguridad puede ser de importancia

Selección de la configuración

3. Características de las configuraciones

- Las subestaciones con barra de transferencia brindan confiabilidad por falla en interruptores.
- Las subestaciones con doble barra brindan flexibilidad para la operación del sistema y confiabilidad por falla en barras.
- Las subestaciones con doble barra, en donde una de ellas también sirve como barra de reserva no brindan simultáneamente flexibilidad y confiabilidad.

Selección de la configuración

- El seccionamiento de barras brinda parcialmente confiabilidad por falla en barras.
- Las subestaciones con conexión de interruptores brindan buena confiabilidad y seguridad.
- La configuración en anillo siempre se debe diseñar en forma modular, tal que se pueda convertir en interruptor y medio.

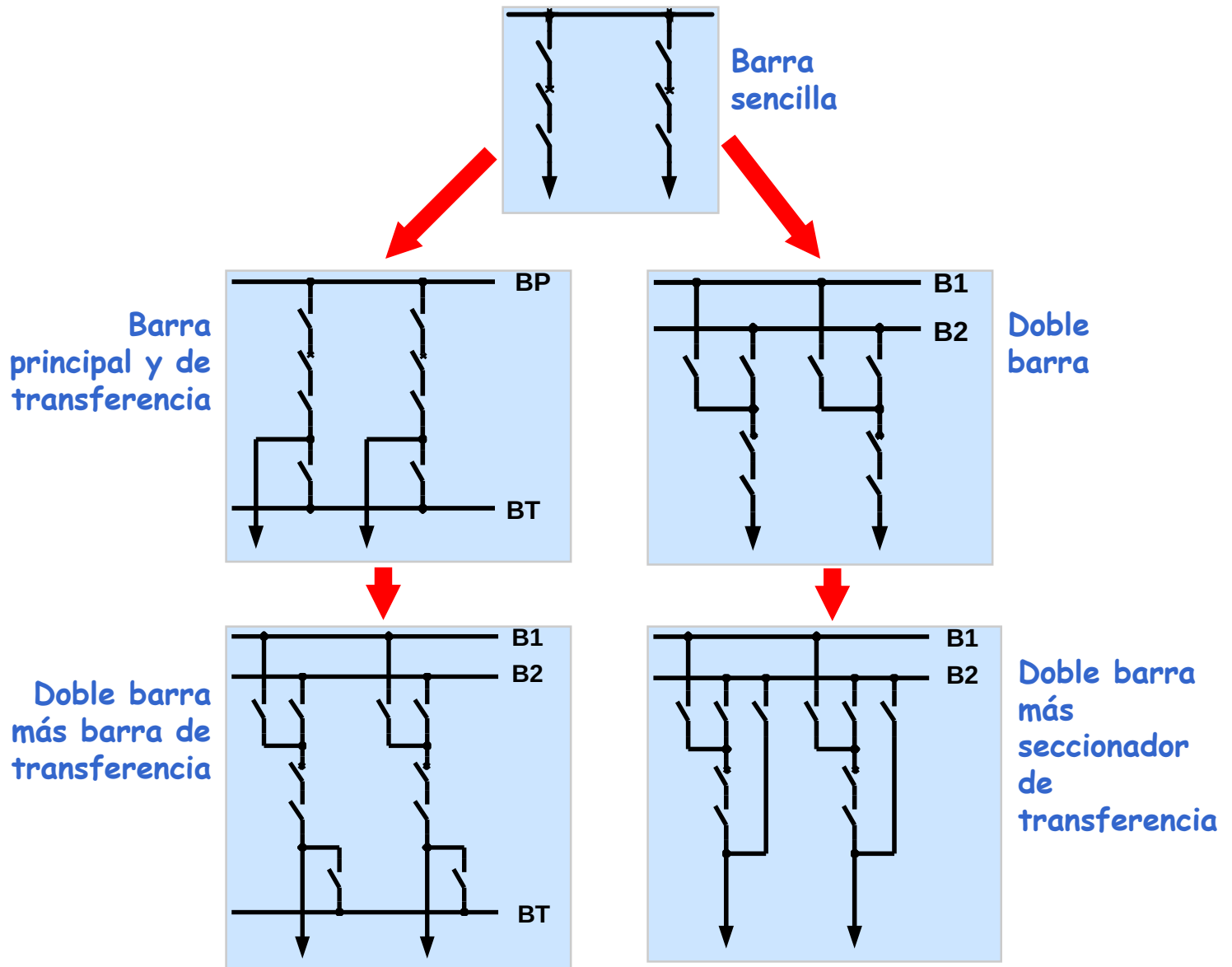
Selección de la configuración

- La barra sencilla es una configuración sin confiabilidad, seguridad o flexibilidad, que se debe utilizar solo para las subestaciones pequeñas o de menor importancia en el sistema.
- La doble barra más seccionador de "by pass" o paso directo es una configuración que brinda, pero no simultáneamente, flexibilidad y confiabilidad, complicada en su operación y control, que puede ser utilizada en subestaciones de maniobra con generación o transformación.

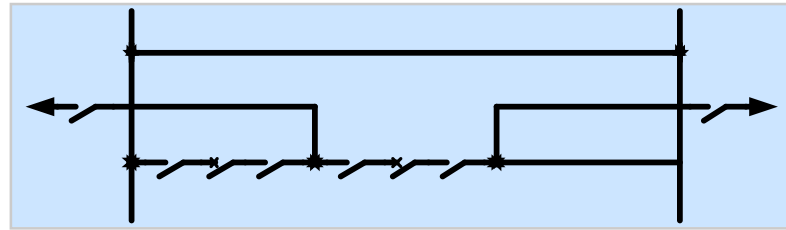
Selección de la configuración

- La doble barra más seccionador de transferencia es una configuración similar a la anterior pero un poco más simple en su operación y control.
- El anillo cruzado es una configuración un poco más segura y confiable que el interruptor y medio pero más complicada en su control y operación
- Las configuraciones más utilizadas para subestaciones encapsuladas en SF₆ son: para alta tensión barra sencilla, doble barra, anillo e interruptor y medio; para extra alta tensión son anillo, interruptor y medio y doble interruptor.

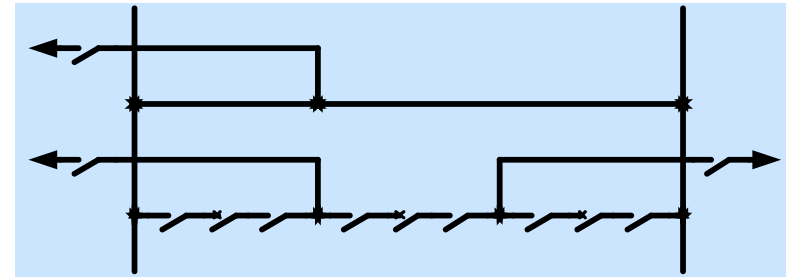
Desarrollo de conexión de barras



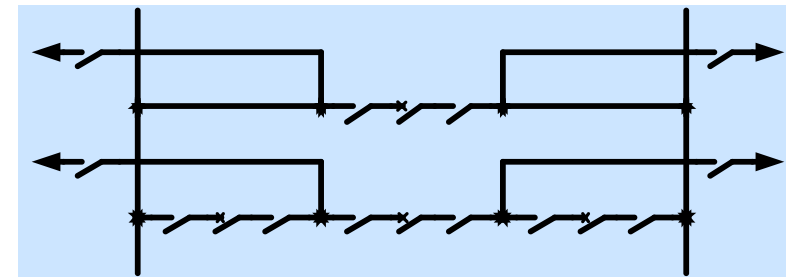
Desarrollo de conexión de interruptores



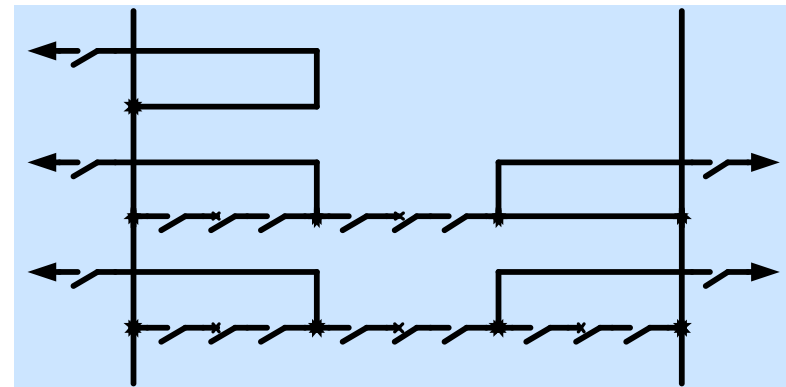
2 Circuitos
(Anillo)



3 Circuitos
(Anillo)

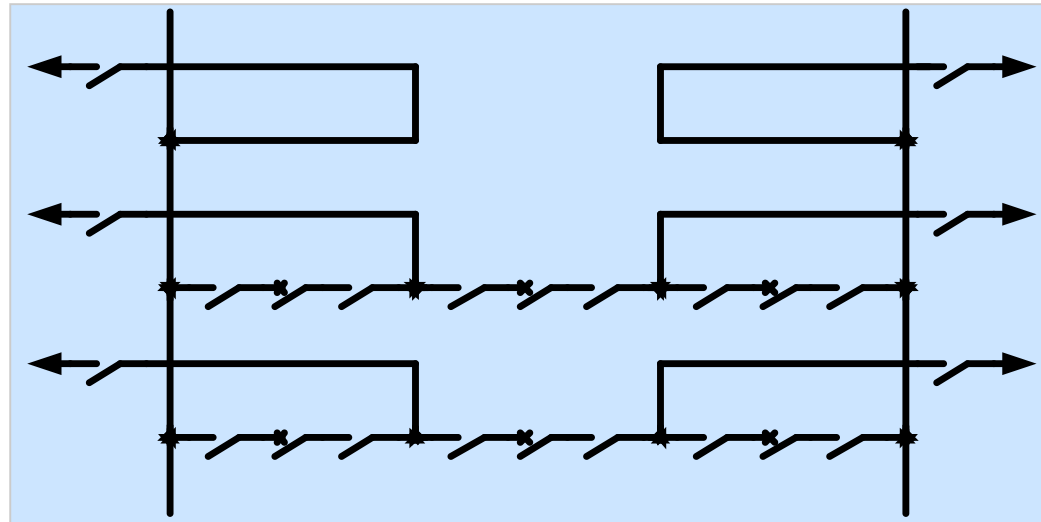


4 Circuitos
(Anillo)

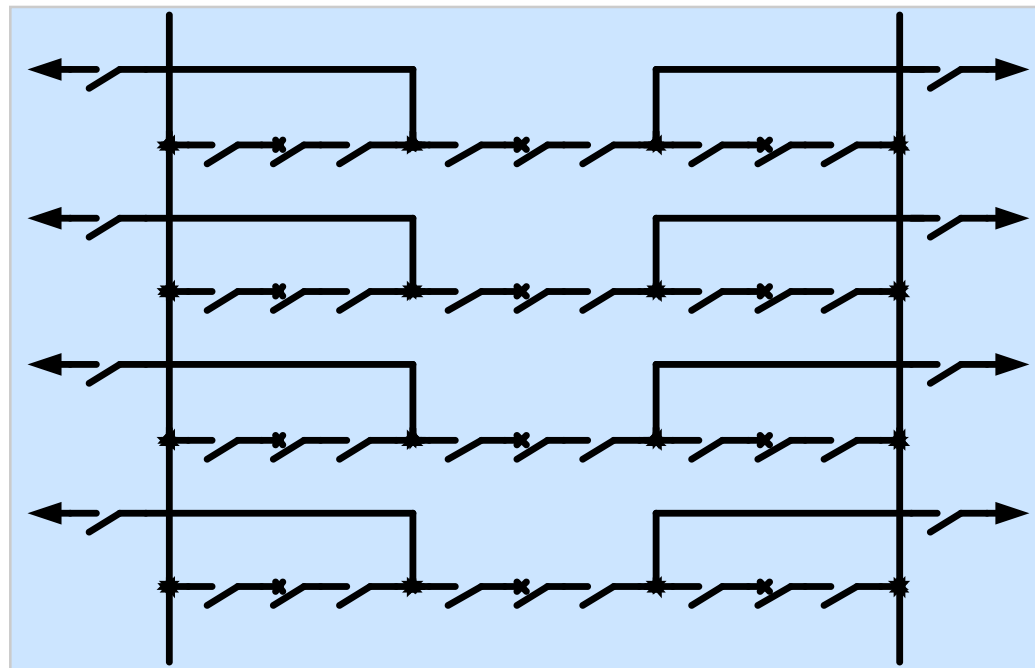


5 Circuitos
(Anillo)

Desarrollo de conexión de interruptores



6 Circuitos
(Anillo)



>6 Circuitos
(Interruptor
y medio)

Selección de la configuración

5. Simplicidad en el esquema de control y protecciones

+ Interruptores + complicada la subestación

- Se debe reducir el número de interruptores y seccionadores cuando se quiere simplicidad.
- Configuraciones del tipo conexión de seccionadores son complejas en su sistema de enclavamientos.
- Configuraciones del tipo conexión de interruptores son complejas en su sistema de protección (recierre, sincronismo, falla interruptor, etc).

Selección de la configuración

6. Facilidad de mantenimiento

- Cada configuración brinda ventajas y desventajas durante mantenimiento.
- Cuadro comparativo del CIGRE - revista ELECTRA No. 10

Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN INTERRUPTOR		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
Barra sencilla	Pérdida de circuito		Pérdida de todos los circuitos
Barra sencilla seccionada	Pérdida de circuito		Pérdida de la mitad de los circuitos
Barra principal y de transferencia	Nada si el interruptor de transferencia está disponible	Pérdida de circuito La barra de transferencia si la falla es en el circuito en transferencia	En la de transferencia pérdida del circuito. En la principal si no está seccionada se pierden todos los circuitos
Doble barra	Pérdida de circuito		Se pierden todos los circuitos conectados a la barra con falla mientras se conmutan a la barra sana
Doble barra más barra de transferencia	Nada si el interruptor de transferencia está disponible	Pérdida de circuito y de barra de transferencia si la falla es en el circuito en transferencia.	En la de transferencia pérdida de circuito En una principal se pierden todos los circuitos conectados a ésta mientras se conmutan a la barra sana

Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN BARRAS		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
Barra sencilla	Pérdida de todos los circuitos		
Barra sencilla seccionada	Pérdida de la mitad de los circuitos	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
Barra principal y de transferencia	Se pierden todos los circuitos si la barra principal no está seccionada	Pérdida de circuito y barra de transferencia si la barra principal está seccionada	Pérdida de todos los circuitos
Doble barra	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de corto circuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
Doble barra más barra de transferencia	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de corto circuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos

Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN INTERRUPTOR		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
Doble barra más "by pass"	Nada si el interruptor de acople está disponible	Pérdida de circuito. Si la falla es en el circuito con el interruptor en mantenimiento se pierde ese circuito con el acople y una de las barras	Si no es la barra que está siendo utilizada como transferencia se pierden todos los circuitos, mientras se conmuta a la barra sana la cual no puede ser utilizada más como barra de transferencia
Anillo	Ningún circuito se pierde, pero se rompe el anillo	Pérdida de circuito Segundo circuito puede quedar aislado dependiendo del lugar de la falla	
Interruptor y medio	Nada	Pérdida de circuito	Se aísla un circuito si el interruptor central está en mantenimiento. Si la falla es en la barra opuesta el interruptor en mantenimiento quedan aislados dos circuitos
Doble interruptor	Nada	Pérdida de circuito	Pérdida de un circuito si el interruptor en mantenimiento está adyacente a la barra con la falla

Facilidades de mantenimiento de cada configuración

CONFIGURACIÓN	EFECTO DE MANTENIMIENTO EN BARRAS		
	Normal	Falla en circuito	Falla en barra
Doble barra más "by pass"	Nada, siempre y cuando no se sobrepase el nivel máximo de cortocircuito	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos
Anillo			
Interruptor y medio	Nada	Pérdida de uno o dos circuitos	La subestación puede dividirse en grupos de dos circuitos
Doble interruptor	Nada	Pérdida de circuito	Pérdida de todos los circuitos

Selección de la configuración

7. Área

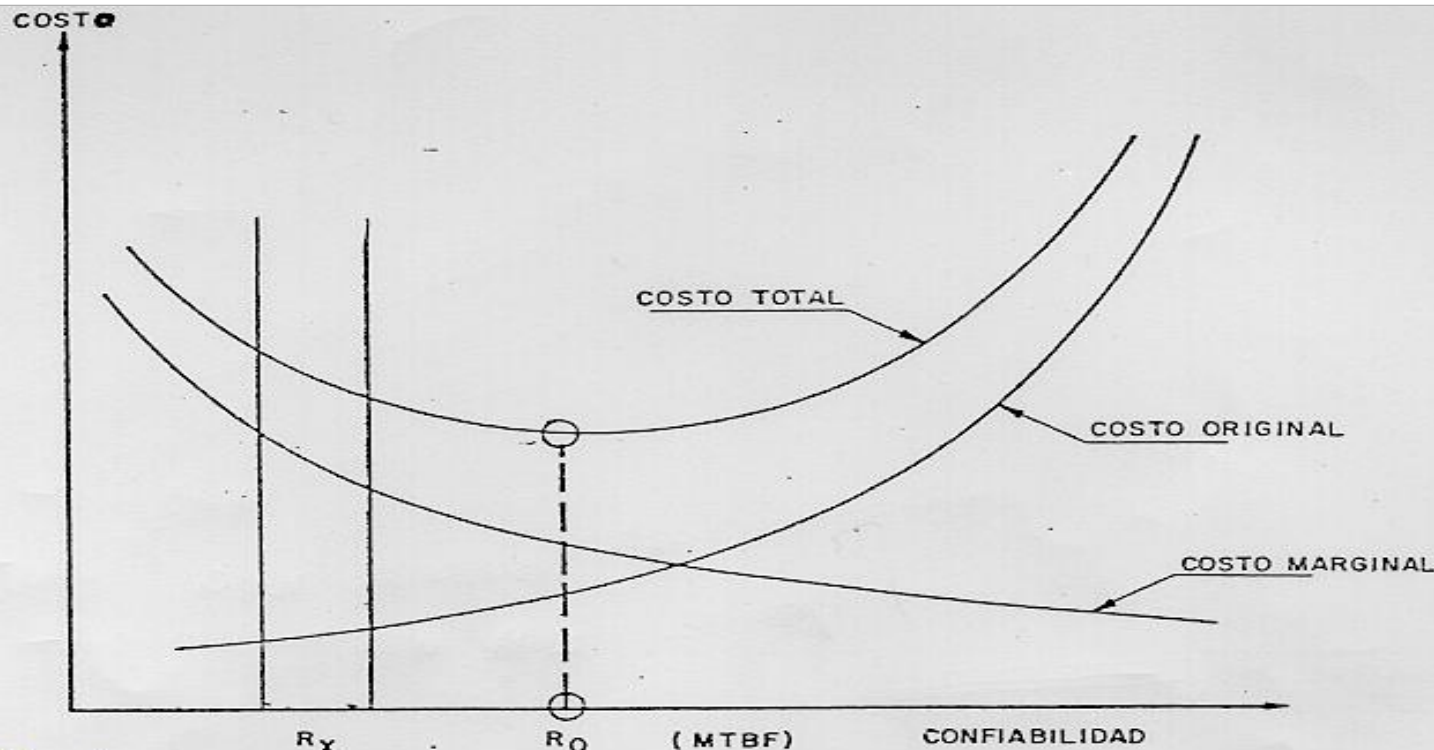
- El área de una configuración determinada depende de la disposición física que se utilice.
- En general las configuraciones de conexión de seccionadores ocupan una mayor área que las subestaciones con conexión de interruptores.
- Áreas muy limitadas pueden exigir ejecuciones con una disposición física con muchos niveles de conexión o inclusive del tipo encapsulada (GIS).

Selección de la configuración

8. Costo

- El costo de una subestación aumenta a medida que se hace más compleja la configuración.
- Las configuraciones interruptor y medio y doble interruptor, son más costosas que las de conexión de seccionadores.
- Las configuraciones de conexión de seccionadores deben contar con la inversión inicial del campo de acople y/o transferencia.

Costo vs Confiabilidad



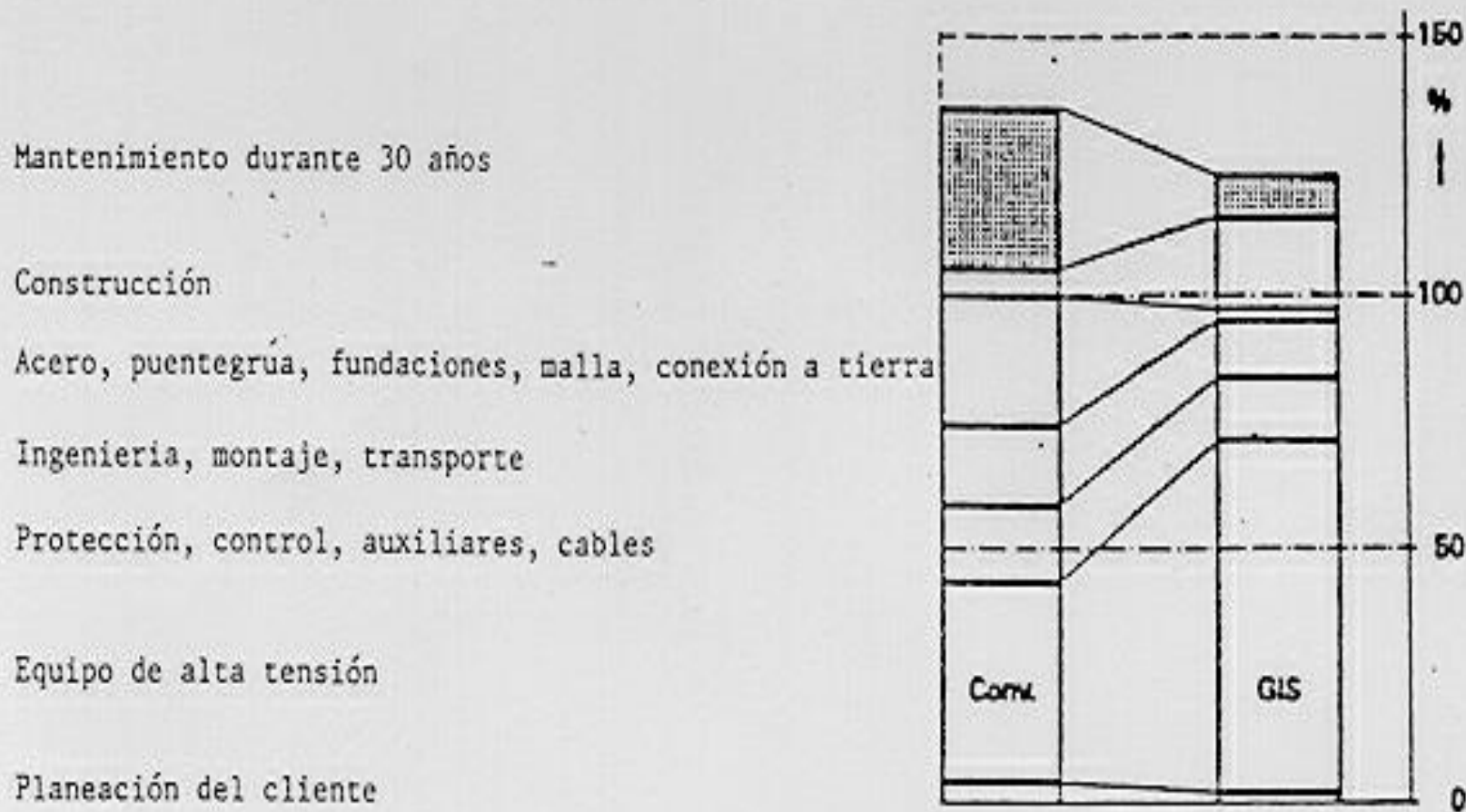
Donde:

- ✓ R_0 : Punto de costo más económico para confiabilidad del sistema.
- ✓ R_x : Franja del costo usualmente causado por la tendencia de minimalizar costo.
- ✓ MTBF: Tiempo medio entre fallas, el cual es función en cierto modo del tipo de configuración. "MEAN TIME BETWEEN FAILURES".

Selección de la configuración

- El costo se debe tomar como un todo para poder efectuar comparaciones: ingeniería + equipos + obras civiles + lote + montaje + operación y mantenimiento + indisponibilidad + otros costos.
- Las subestaciones encapsuladas (GIS), en lo que respecta al equipo, son más costosas que las convencionales (AIS), por lo que su utilización debe ser bien justificada.

Comparación de costos en subestaciones encapsuladas y convencionales a 145 kV



Comparación de costos en subestaciones encapsuladas y convencionales a 525 kV

Mantenimiento durante 30 años

Construcción

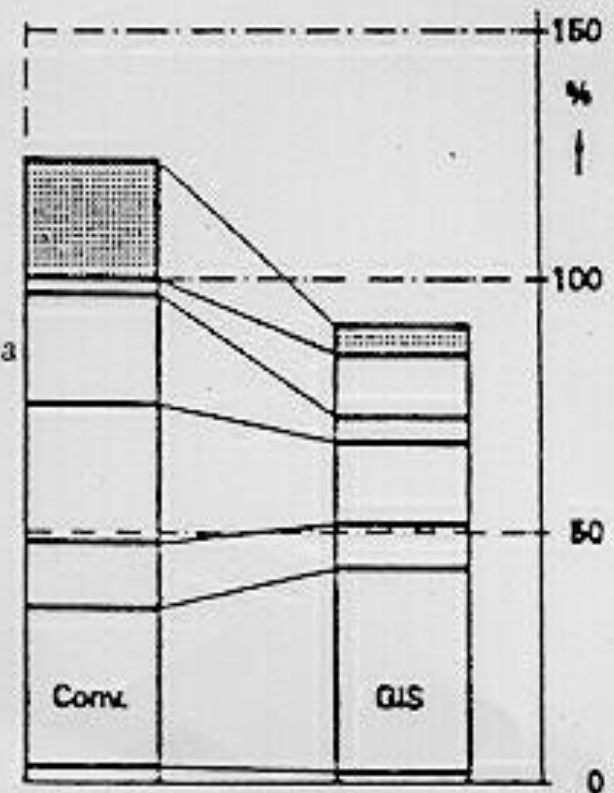
Acero, puente grúa, fundaciones, malla, conexión a tierra

Ingeniería, montaje, transporte

Protección, control, auxiliares, cables

Equipo de alta tensión

Planeación del cliente



Método simplificado para comparar costos de diferentes configuraciones

 Precios relativos:

EQUIPO	NIVEL DE TENSIÓN		
	500 kV	230 kV	115 kV
INTERRUPTOR	1,0	1,0	1,0
SECCIONADOR	0,2	0,25	0,3

Método simplificado para comparar costos de diferentes configuraciones

Ejemplo para 230 kV:

■ Subestación en doble barra (DB) de ocho campos

- Interruptores = 8 (campos) + 1 (acople) = 9
- Seccionadores = 24 + 2 = 26
- Valor comparativo = 9 + 26 × (0,25) = 15,5

■ Subestación en interruptor y medio (CB 1/2) de ocho circuitos

- Interruptores = 8 × 1,5 = 12
- Seccionadores = 8 × 4 = 32
- Valor comparativo = 12 + 32 × (0,25) = 20,0

En donde:

- CB 1/2 = 1,29 DB (8 campos)
- 29% + costo

Selección de la configuración

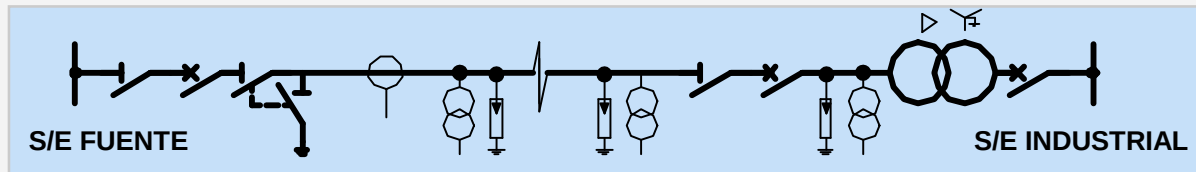
9. Otros aspectos

- Influencia ambiental
- Historia y tradición

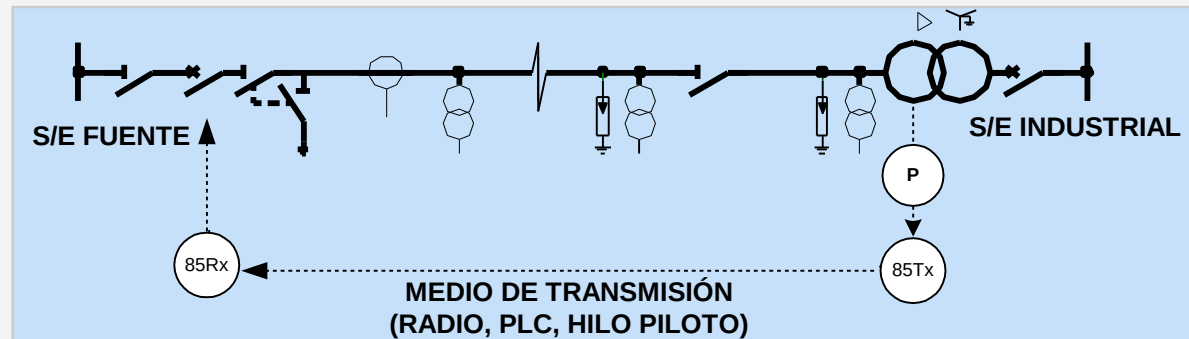
Sistema de media y baja tensión

Esquemas y configuraciones básicas

1. Subestación terminal con interruptor (radial)



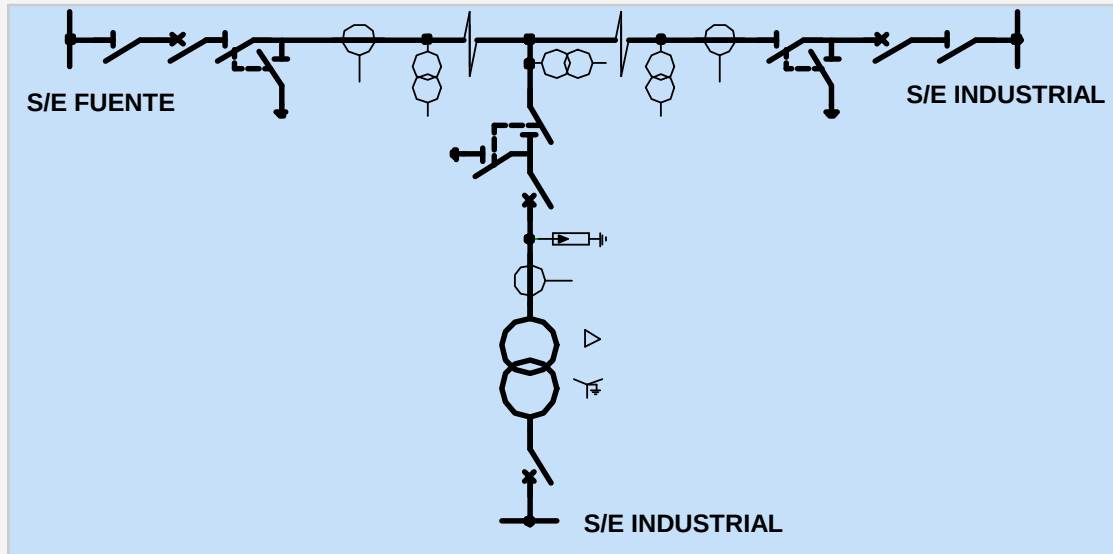
2. Subestación terminal sin medio de interrupción local (≥ 115 kV sistema radial)



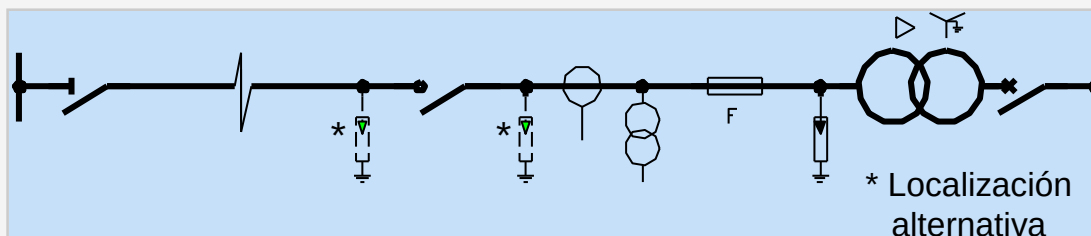
Sistema de media y baja tensión

Esquemas y configuraciones básicas

4. Derivación de sistema enmallado



5. Subestación terminal con fusible (sistema radial derivado)

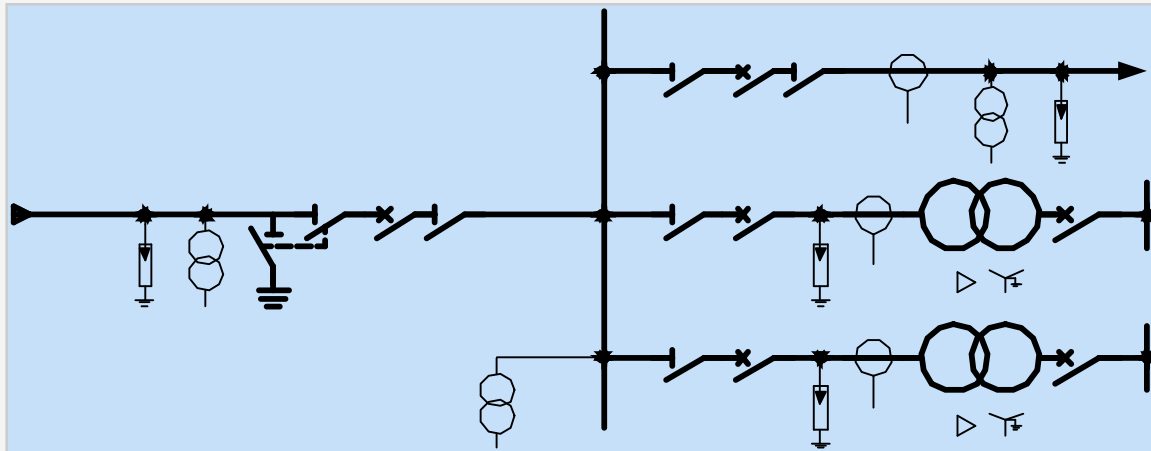


Sistema de media y baja tensión

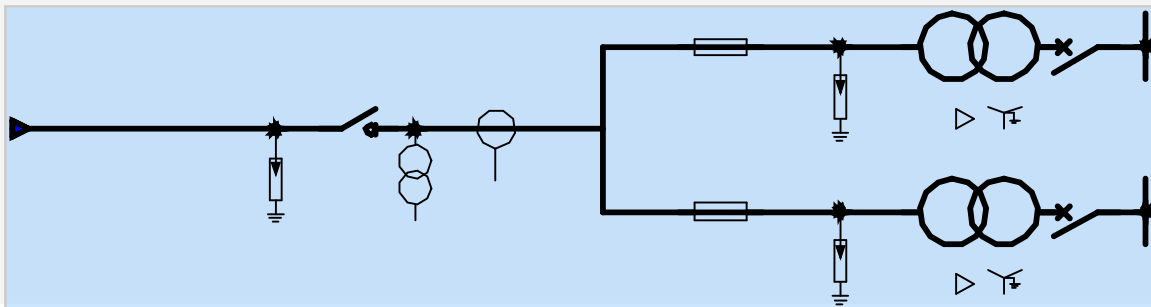
Esquemas y configuraciones básicas

5. Barra sencilla terminal (sistema radial derivado)

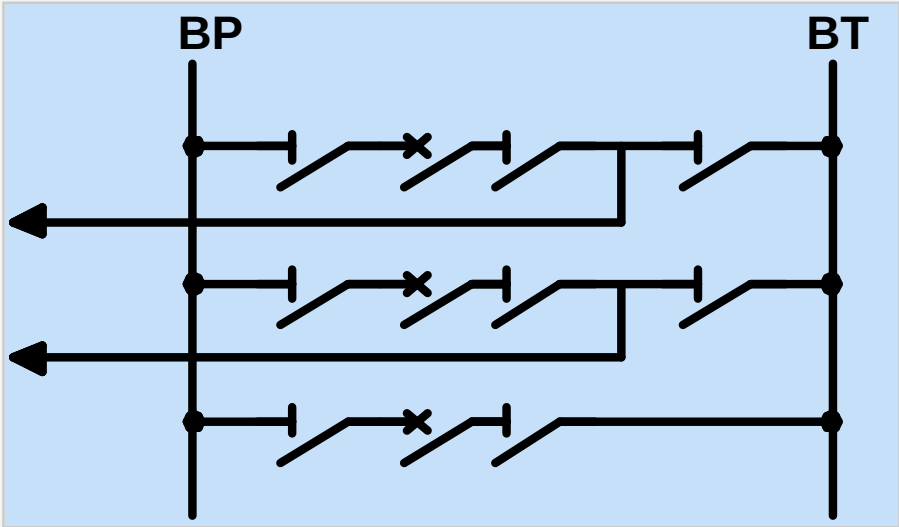
a. Con interruptores



b. Con fusibles



1000



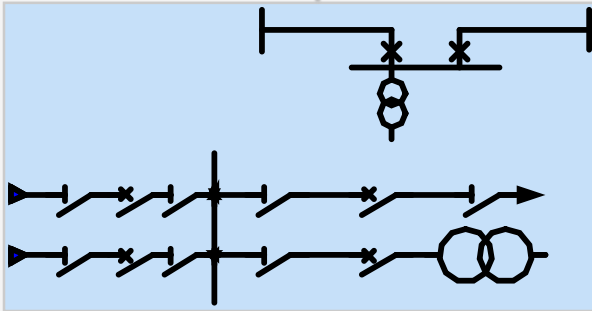
Sistema de media y baja tensión

Esquemas y configuraciones básicas

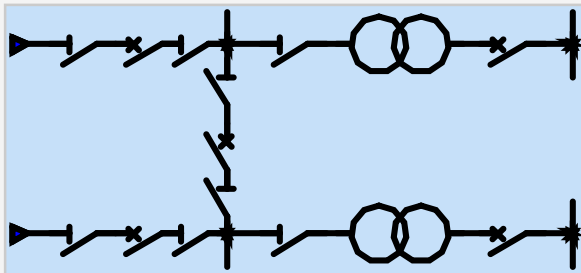
7. "H" o "T" (esquemas simplificados)

Ideal para conexión a sistemas enmallados abriendo al línea

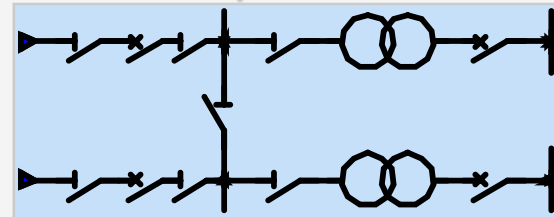
a. Cuatro interruptores



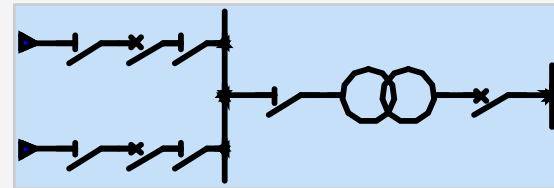
b. Tres interruptores



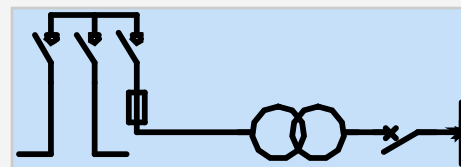
c. Dos interruptores-dos transformadores



d. Dos interruptores-un transformadores



e. Subestaciones unitarias

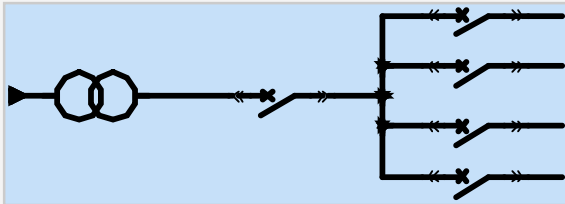


Sistema de media y baja tensión

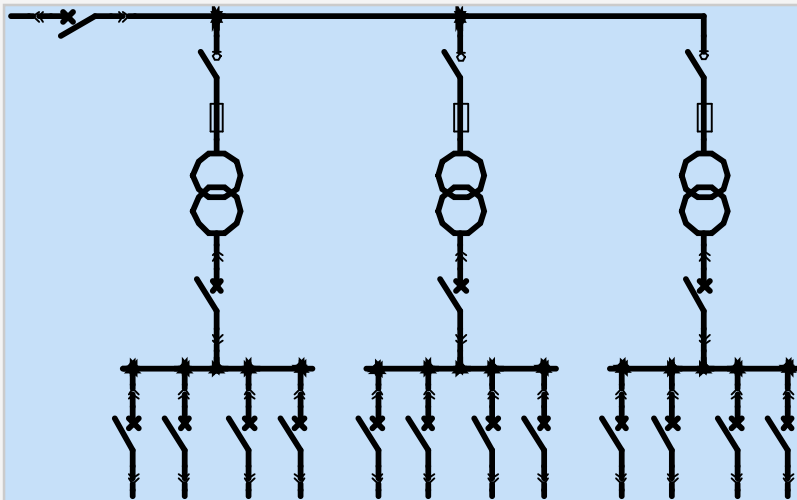
Esquemas y configuraciones básicas

8. Sistema de distribución de media o baja tensión

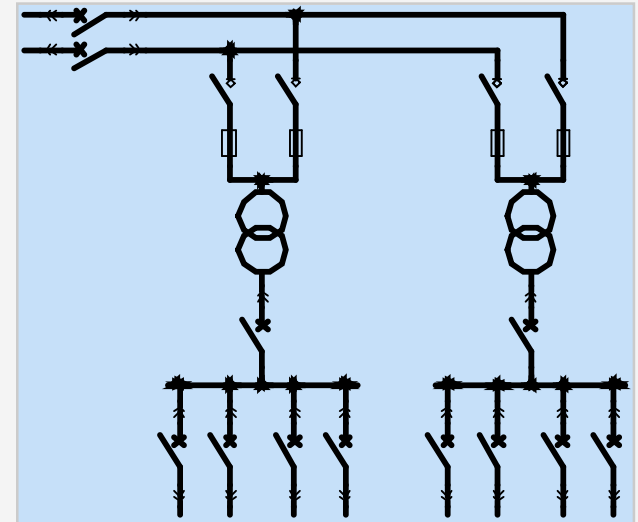
a. Sistema radial simple



b. Sistema radial expandido



c. Sistema primario selectivo

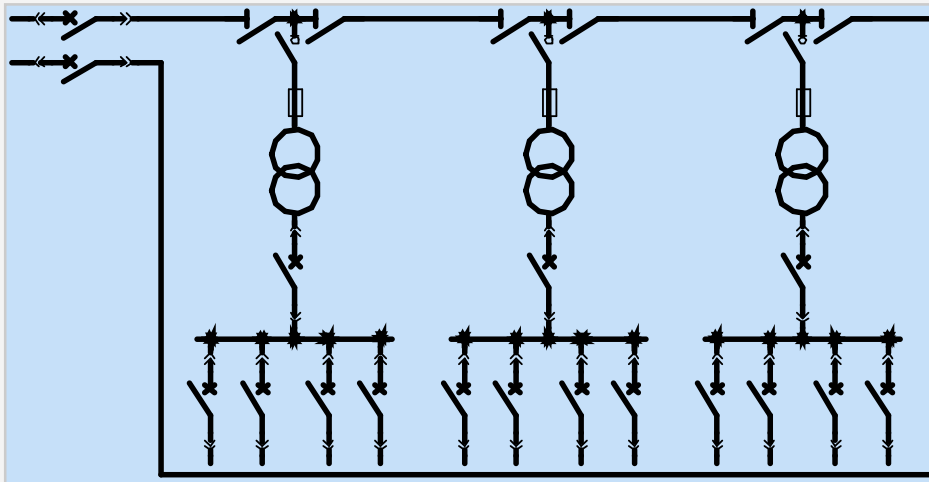


Sistema de media y baja tensión

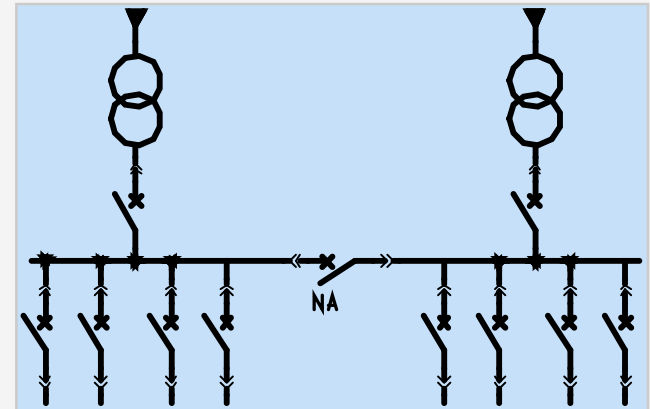
Esquemas y configuraciones básicas

8. Sistema de distribución de media o baja tensión (cont.)

d. Sistema de lazo primario



e. Sistema secundario selectivo



f. Doble alimentación secundaria

