

# 5 | Resumen de la subestación

# Esquema del curso

1. Introducción al WECC
2. Fundamentos de la Electricidad
3. Descripción general del sistema de energía
4. Principios de Generación
5. Descripción general de la subestación
6. Transformadores
7. Transmisión de potencia
8. Protección del sistema
9. Principios de funcionamiento del sistema

## Descripción general

- Finalidad de las Subestaciones
- Equipos de Subestación
- Casa de control de la subestación
- Configuraciones de bus de subestación

# Finalidad de las Subestaciones

- En general, una subestación es una instalación de un sistema de potencia que contiene componentes tales como:
  - disyuntores y otros dispositivos de conmutación
  - transformadores
  - reactores
  - condensadores

# Finalidad de las Subestaciones

- Una subestación generalmente incluye una casa de control que contiene equipos como:
  - relés de protección
  - metros
  - anunciadores de alarma
  - equipo de comunicaciones

## Finalidad de las Subestaciones

- Una subestación interior alberga todo el equipo eléctrico dentro de las paredes de un edificio. Las subestaciones interiores pueden ser completamente subterráneas o parecerse a otros edificios en los vecindarios a los que sirven.

# Finalidad de las Subestaciones



# Finalidad de las Subestaciones

- Las subestaciones exteriores tienen el mismo equipo que las subestaciones interiores, pero el equipo está ubicado afuera donde está expuesto a elementos naturales, en lugar de en un edificio. El equipo suele estar encerrado dentro de una cerca.



# Finalidad de las Subestaciones



# Finalidad de las Subestaciones





# Finalidad de las Subestaciones

- **Estera de tierra**
  - Las subestaciones suelen incluir una alfombra de tierra. A ***estera de tierra*** es un sistema de conductores desnudos, sobre o debajo de la superficie, conectados a tierra para brindar protección contra altos voltajes.



# Finalidad de las Subestaciones

- Uno de los propósitos de una subestación es contener el equipo para cambiar la energía eléctrica de un voltaje a otro. Las subestaciones también permiten que se realice una o más de las siguientes funciones:
- Operaciones de conmutación
  - Las subestaciones conectan o desconectan elementos del sistema de potencia, utilizando disyuntores y/o interruptores.

# Finalidad de las Subestaciones

- Poder reactivo compensación
  - Las empresas de servicios públicos instalan condensadores síncronos, reactores de derivación, condensadores de derivación y compensadores VAR estáticos en subestaciones para control de tensión.
  - Las empresas de servicios públicos instalan condensadores en serie en las subestaciones para reducir la reactancia de línea.



# Equipos de Subestación

- En esta sección describimos la función y los principios operativos de los siguientes componentes del sistema de potencia:
  - Equipo de conmutación
  - Condensadores
  - reactores
  - Interruptores de tierra
  - Pararrayos
  - Trampas de olas

## Subestación de control

- ***Subestación de controles*** un término general dado a los dispositivos de conmutación e interrupción. El equipo de conmutación suele estar contenido en unidades con gabinete metálico. Sin embargo, a voltajes más altos, el equipo puede estar o no en unidades encerradas en metal.
- El equipo de conmutación realiza dos funciones separadas.

## Subestación de control

- En condiciones normales, el equipo de conmutación permite que se produzcan operaciones de conmutación de rutina.
- Por ejemplo: el equipo de conmutación desconecta y aísla una pieza del equipo para que se pueden realizar trabajos de mantenimiento.
- En condiciones anormales, el equipo de conmutación desconecta automáticamente el equipo con falla del resto del sistema de energía tan pronto como sea posible, para minimizar el daño. En estas condiciones, el equipo de aparamenta realiza una función de protección.



## Subestación de control

- Todos los dispositivos de conmutación funcionan separando los conductores eléctricos (contactos). A medida que los contactos se separan mientras la energía fluye a través del dispositivo, se forma un arco entre los contactos. El arco se extiende en longitud a medida que se abren los contactos. Para interrumpir el flujo de corriente, el arco debe extinguirse con una sustancia dieléctrica, como aire, aceite o azufre.  
hexafluoruro (SF<sub>6</sub>).

## Subestación de control

- Discutimos los siguientes tipos de equipos de conmutación:
  - Rompedores de circuito
  - Interruptores de ruptura de carga
  - Desconectar interruptores
- Examinamos la función y el principio de funcionamiento de cada uno de ellos.

## Rompedores de circuito

- Los disyuntores desconectan circuitos o equipos del sistema de energía. La función principal de un disyuntor es interrumpir el flujo de corriente en condiciones de carga o falla.
- Los disyuntores aíslan rápidamente las partes con fallas del sistema de energía. También proporcionan un medio para llevar a cabo operaciones de conmutación de rutina, como desconectar un dispositivo para realizar el mantenimiento.

# Principios de funcionamiento del disyuntor

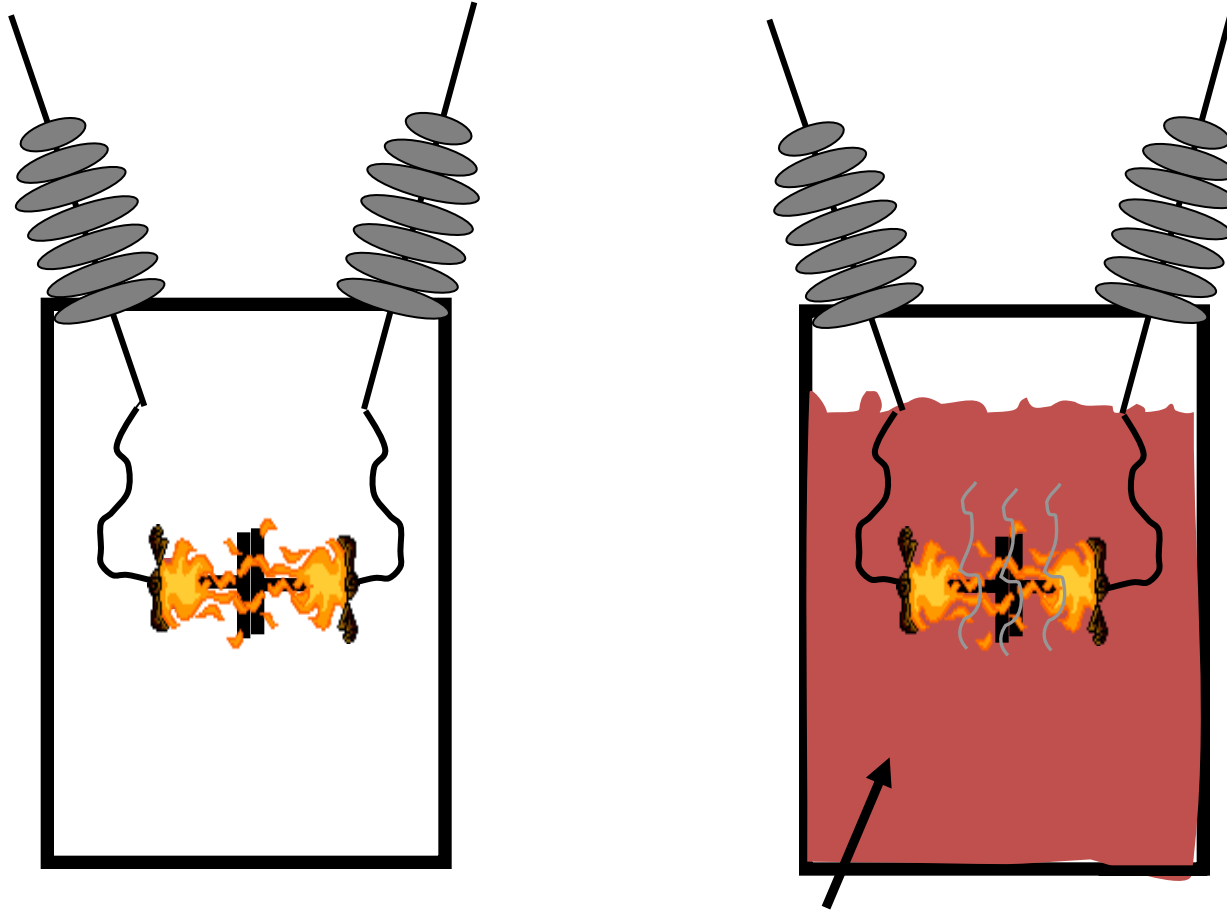
- Para interrumpir la corriente, el disyuntor debe dispararse. Examinemos la mecánica involucrada en el disparo de interruptores automáticos en condiciones de falla.
- Cuando ocurre una falla, los relés detectan la falla e inician la apertura de los interruptores automáticos relacionados con el equipo en falla al energizar las bobinas de disparo de los interruptores automáticos.

***Módulo 8: Sistema de Protección, presenta los detalles sobre el funcionamiento de los relés.***

# Principios de funcionamiento del disyuntor

- Los interruptores automáticos se abren durante un período de tiempo predeterminado en función de los ajustes de los relés de reconexión. Después del período de tiempo predeterminado, los relés de reconexión envían una señal a las bobinas de cierre para que cierren los interruptores automáticos. El retardo de tiempo es suficiente para permitir que el arco se extinga.
- Si la falla persiste después del recierre (p. ej., si es una falla permanente, como un conductor que toca tierra), los relés envían una señal a las bobinas de disparo de los interruptores automáticos para que abran los interruptores nuevamente, esta vez de forma permanente.
- ***Nota: No todos los esquemas de relés de circuito incluyen relés de reconexión.***

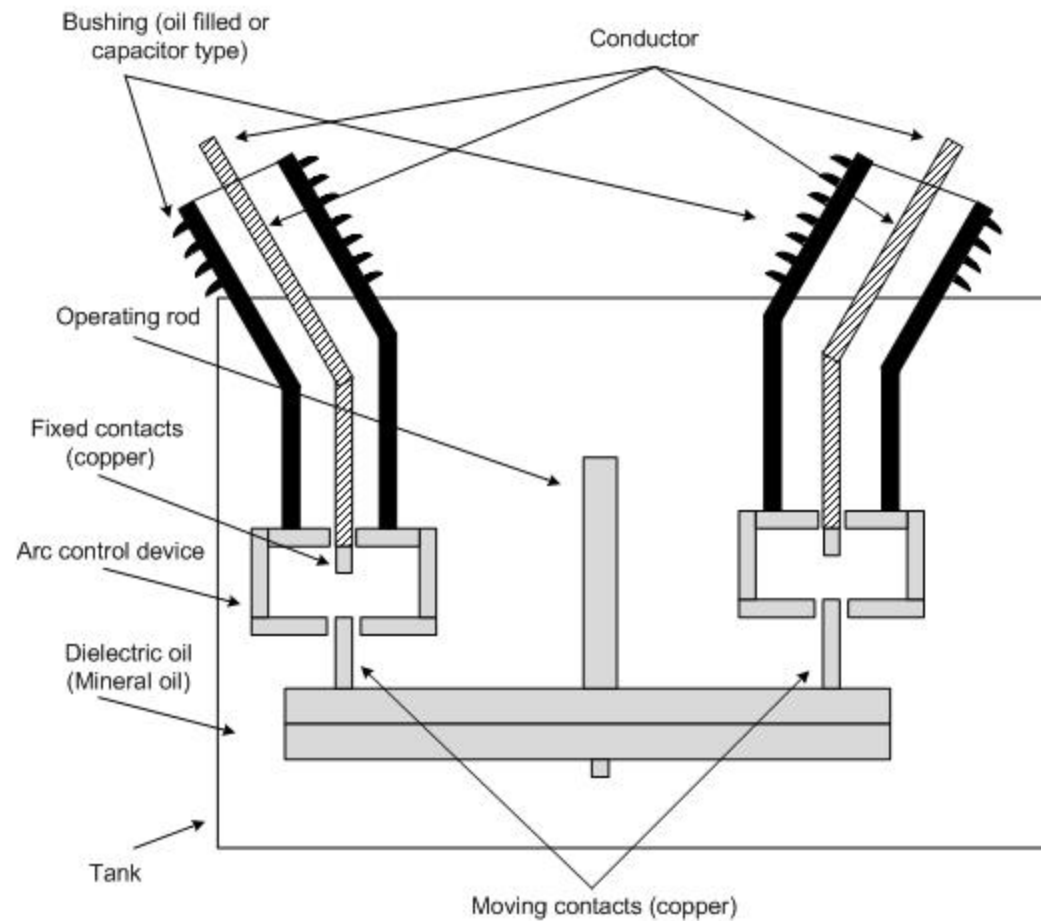
## Cómo funciona un rompedor de aceite



**Aceite aislante**



# Principios de funcionamiento del disyuntor



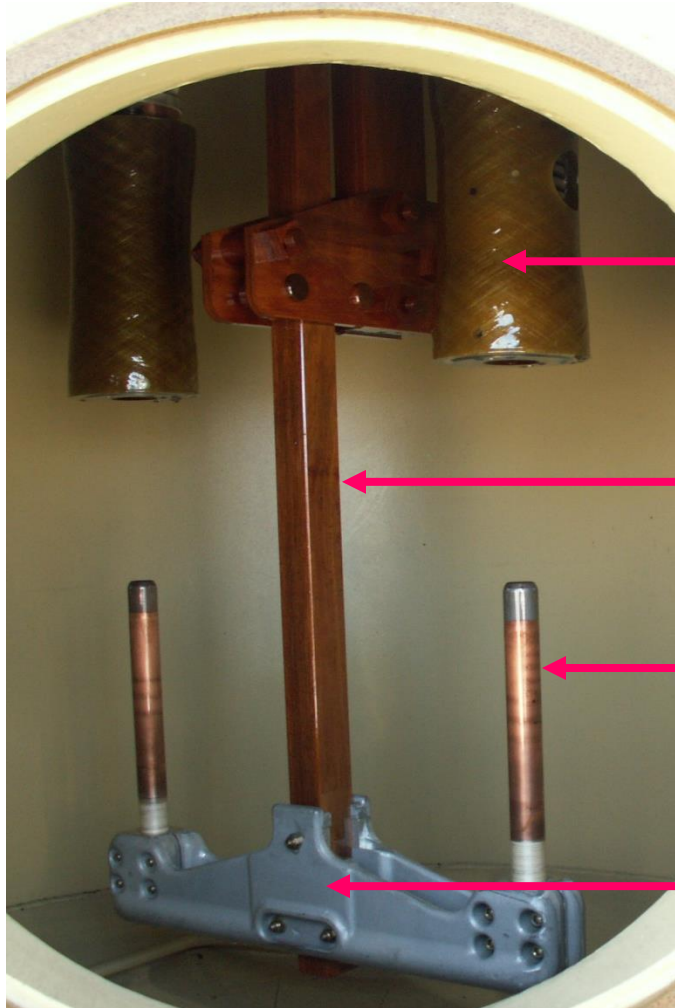
# reencendido

- El medio aislante (aceite, aire, etc.) todavía está caliente por el arco original e incluye moléculas ionizadas que forman un camino conductor. Por lo tanto, cuando el voltaje aumenta nuevamente, el arco generalmente se vuelve a encender en una acción llamada ***reencendido***
- Durante el reencendido, la cruceta continúa separándose de los contactos. Este proceso se repite dos veces por ciclo hasta que la cruceta esté lo suficientemente lejos de los contactos para que el arco no pueda restablecerse. En este punto, el flujo de corriente se interrumpe por completo.

# Cruceta y contactos



# Cruceta y contactos



**Abrir contactos en**

**CB de 115 kV**

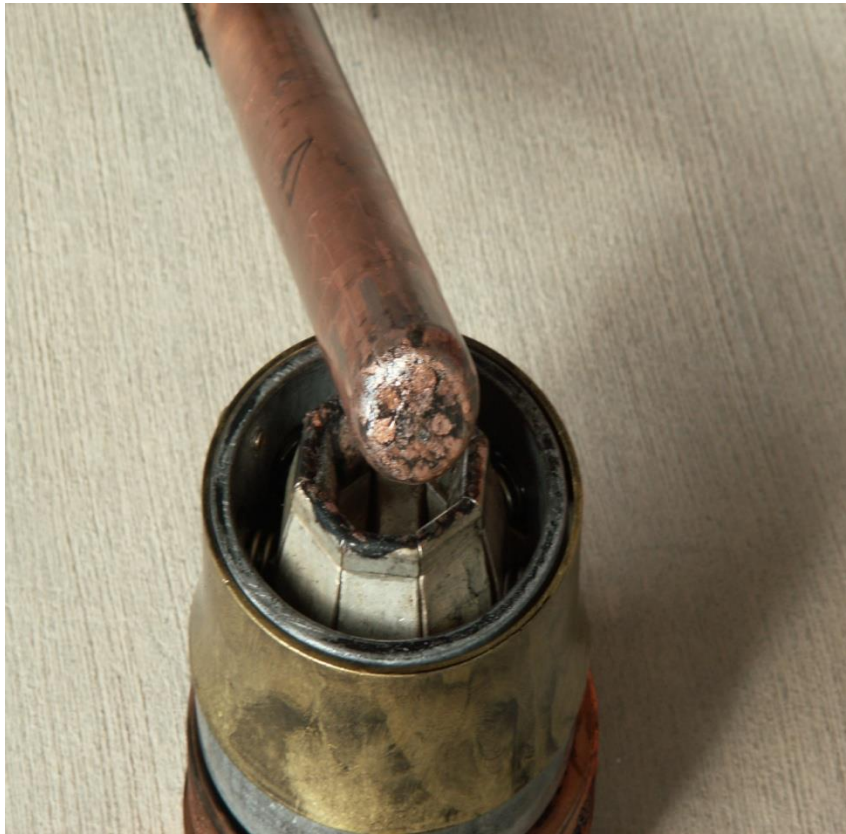
**Dispositivo de interrupción con receptáculo de varilla  
de contacto nuevo instalado**

**Barra de operación (miembro móvil)**

**Nueva varilla de contacto instalada**

**Placa lateral (miembro transversal)**

# Contactos quemados de 115kV OCB





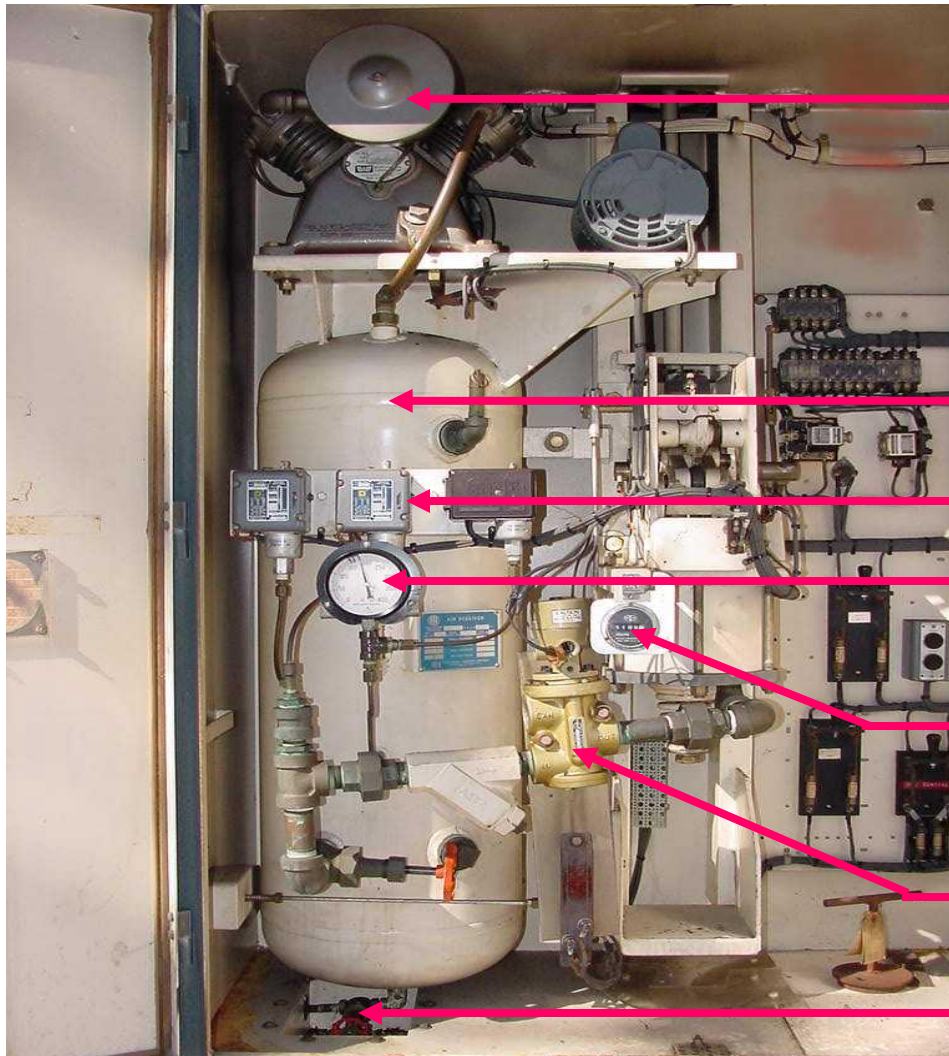
## Ubicación del receptáculo de la varilla de contacto dentro del dispositivo de interrupción de 115 kV OCB



# Operador

- Una vez que se ha eliminado la falla, se puede cerrar el interruptor automático. El dispositivo utilizado para cerrar un interruptor automático se llama ***un operador***. Los métodos para cerrar un interruptor automático son:
  - Un solenoide energizado conduce el interruptor a la posición cerrada.
  - Un motor comprime un resorte de cierre que cierra el interruptor.
  - El aire comprimido impulsa un pistón que impulsa el martillo a la posición cerrada. Si se pierde presión, solo se ve afectado el operador neumático que cierra el interruptor; la capacidad de disparo o interrupción del interruptor automático no se ve afectada.

# Mecanismo de operación neumática



Compresor de aire

Tanque de aire comprimido

Interruptores de presión

Indicador de presión de aire

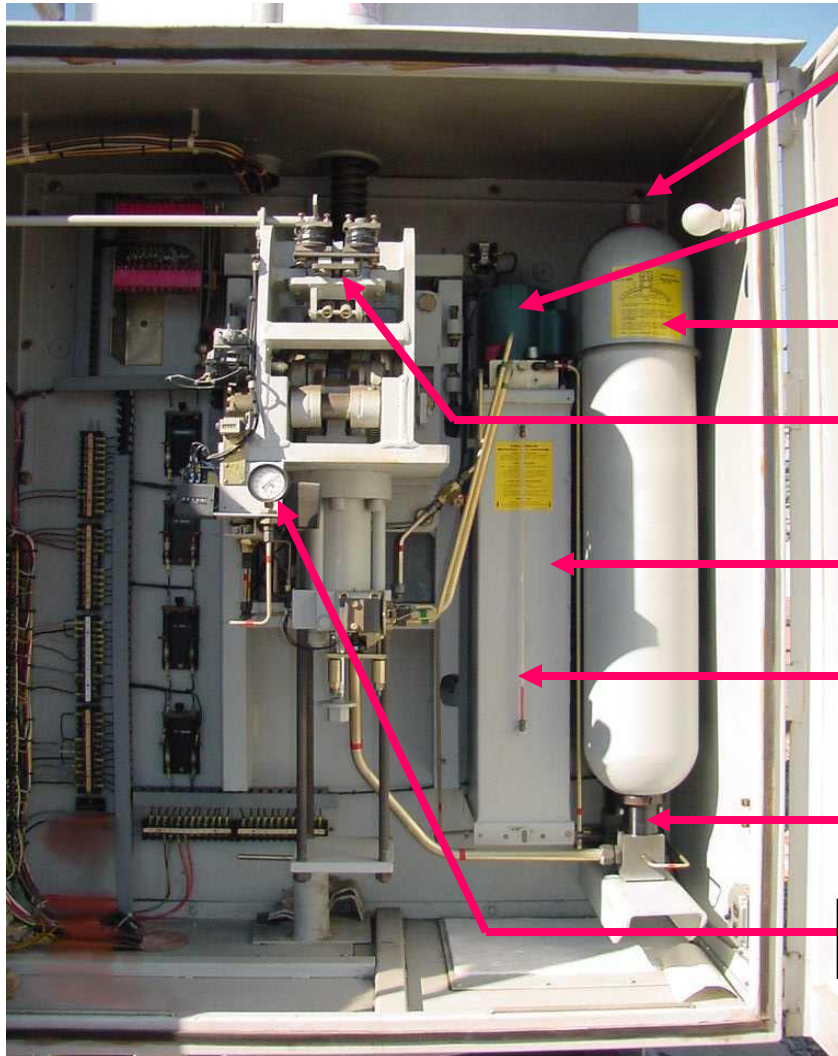
Medidor de tiempo de funcionamiento del compresor

Regulador de presión

Válvula de drenaje



# Mecanismo de operación hidráulica



Válvula de llenado de nitrógeno para tanque acumulador

motor bomba hidraulica

Depósito acumulador con vejiga

Primavera de cierre

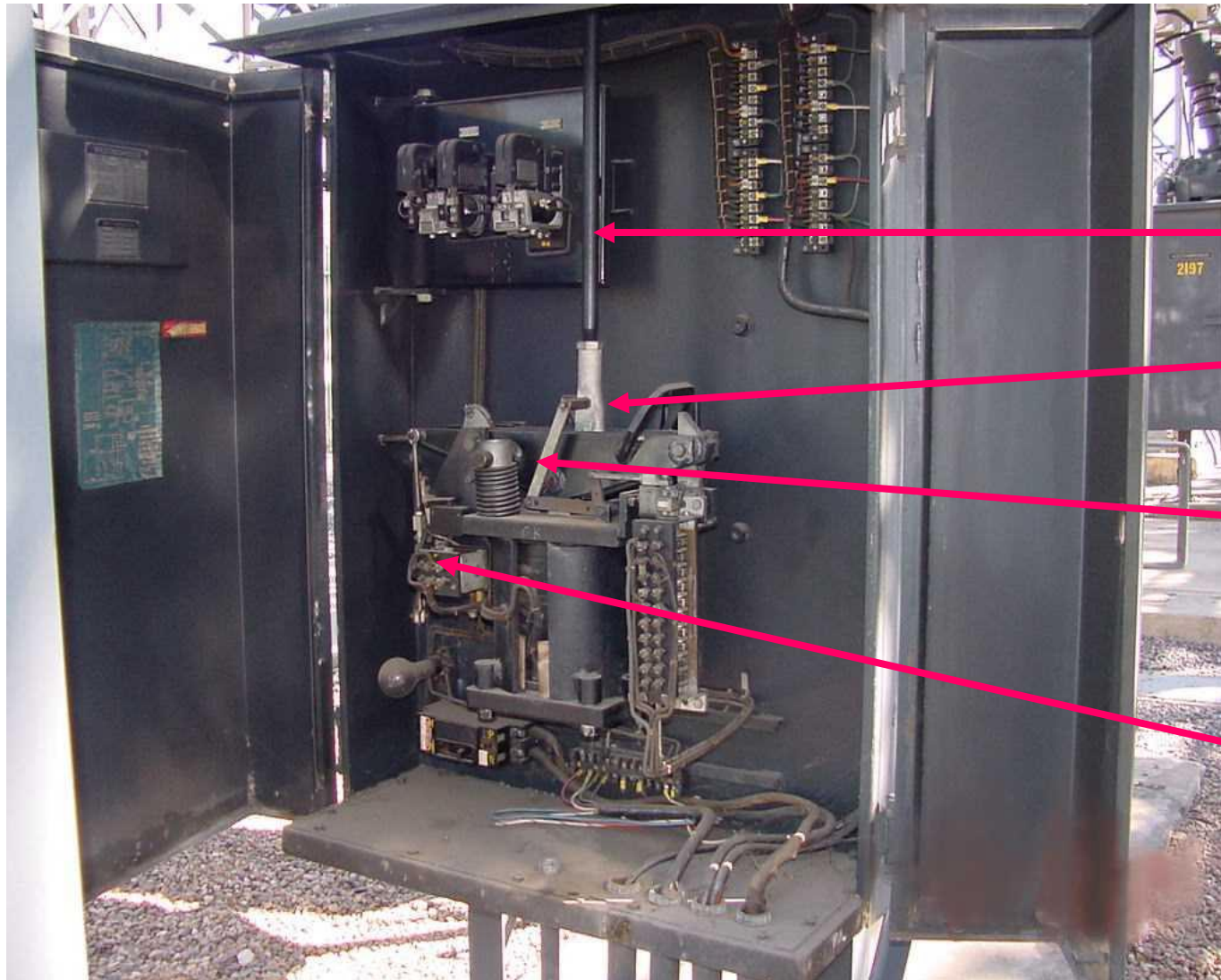
Depósito de fluido hidráulico

Mirilla de líquido hidráulico

Pistón Hidráulico

Manómetro

# MECANISMO DE SOLENOIDE



Varilla de operación

Émbolo ubicado  
detrás de aquí

AB contacto  
enlace

Bobina

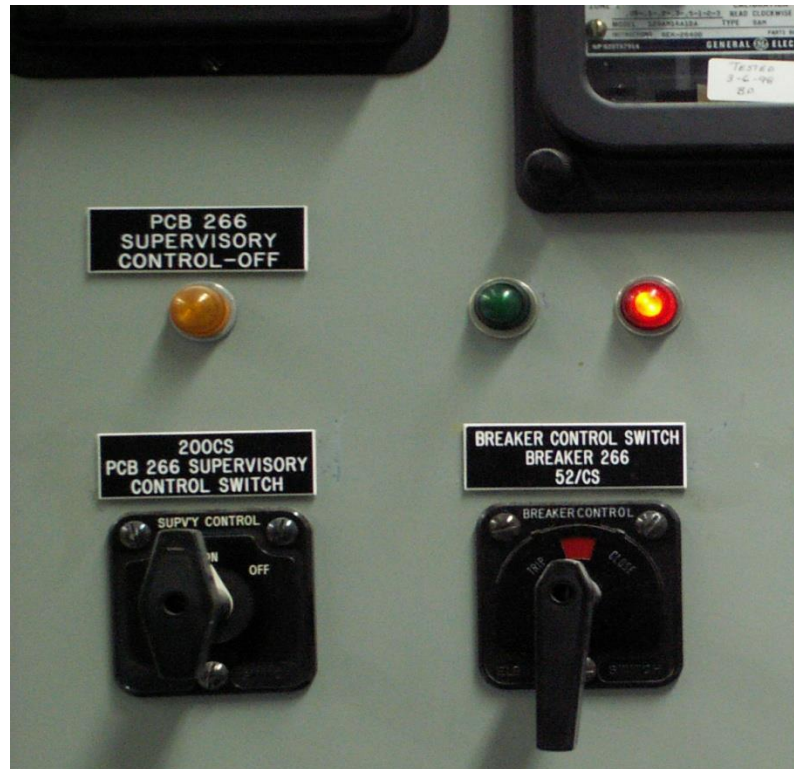
# Operador

- Algunos interruptores automáticos están equipados con un interruptor para disparar manualmente en caso de falla en los controles eléctricos. Dichos interruptores comúnmente deben restablecerse manualmente antes de que el interruptor de circuito afectado pueda cerrarse nuevamente.
- Un problema común que provoca que no se dispare o cierre un disyuntor es un circuito abierto en la propia bobina de disparo o en el cableado de CC que conduce a la bobina de disparo.

# Operador

- Para detectar una condición de circuito abierto antes de que sea necesario disparar el disyuntor, los fabricantes conectan una lámpara en el panel de control del disyuntor en serie con la bobina de disparo y su cableado asociado.
  - Si la lámpara está encendida, el cableado y la bobina están intactos.
  - Si la lámpara está apagada, el cableado y las bobinas no están intactos y es posible que el disyuntor no funcione cuando se le solicite que se dispare.

## Luces del monitor de la bobina de disparo



## Rompedores de circuito

- Sabemos que una de las funciones de un disyuntor es interrumpir la corriente de falla. Disparar el interruptor para interrumpir la corriente de falla crea un arco interno que produce temperaturas muy altas.
- Los dos métodos más comunes para extinguir el arco son:
  - aumentando la longitud del arco
  - enfriar el medio aislante alrededor del arco (desioniza el medio)

## Rompedores de circuito

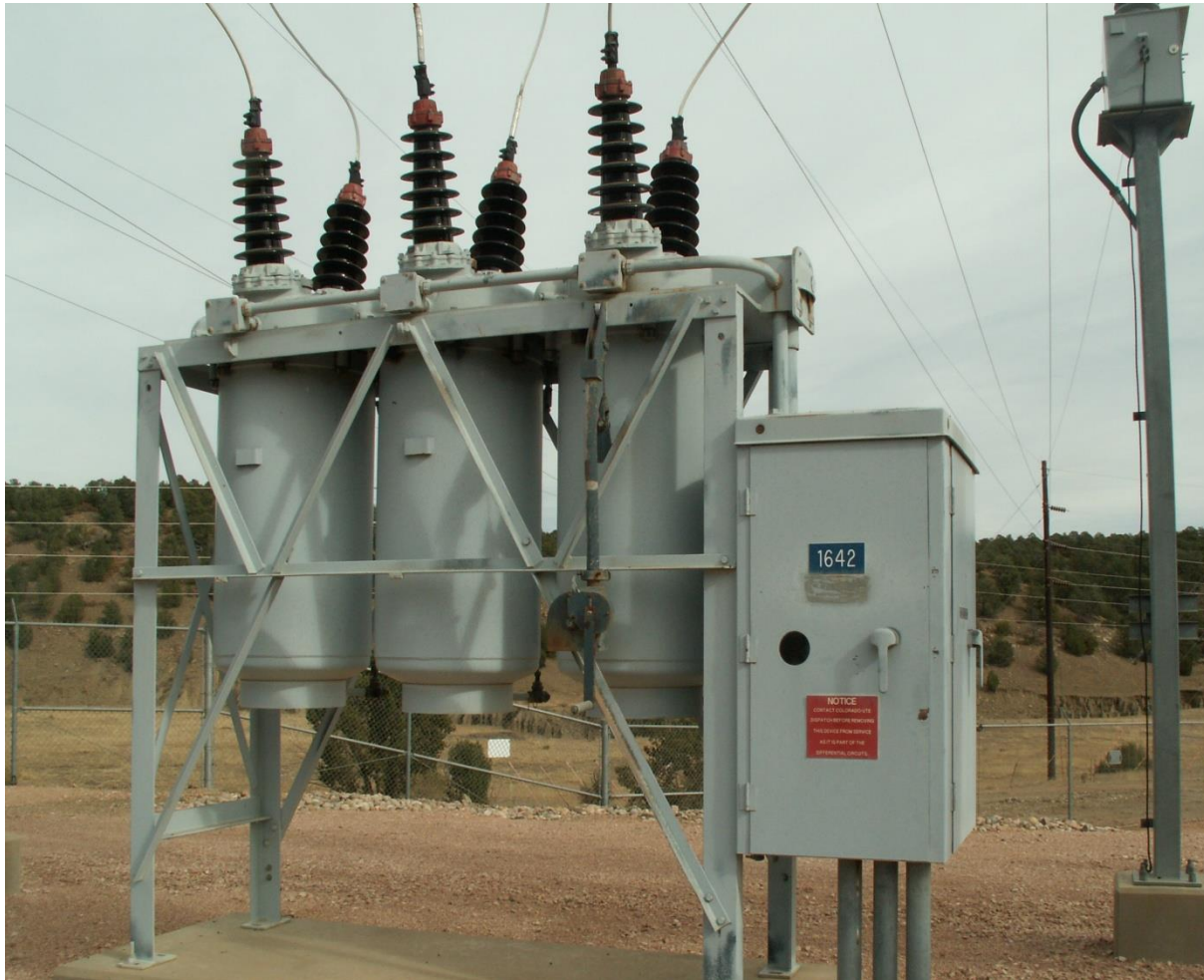
- Los interruptores automáticos utilizan muchos medios aislantes diferentes para interrumpir el arco.
- Los medios aislantes más comunes incluyen:
  - aire
  - petróleo
  - SF6
  - aspiradora



# Tipos de disyuntores

- Hay varios tipos diferentes de disyuntores, que incluyen:
  - disyuntores de aceite
  - disyuntores de aire
  - disyuntores de chorro de aire
  - disyuntores de explosión de gas
  - disyuntores de soplador de gas
  - disyuntores de vacío
- Cada tipo de disyuntor indica un método utilizado para interrumpir el arco dentro del disyuntor.

# Disyuntores de aceite



CB de 46 kV

# Tanque simple trifásico OCB



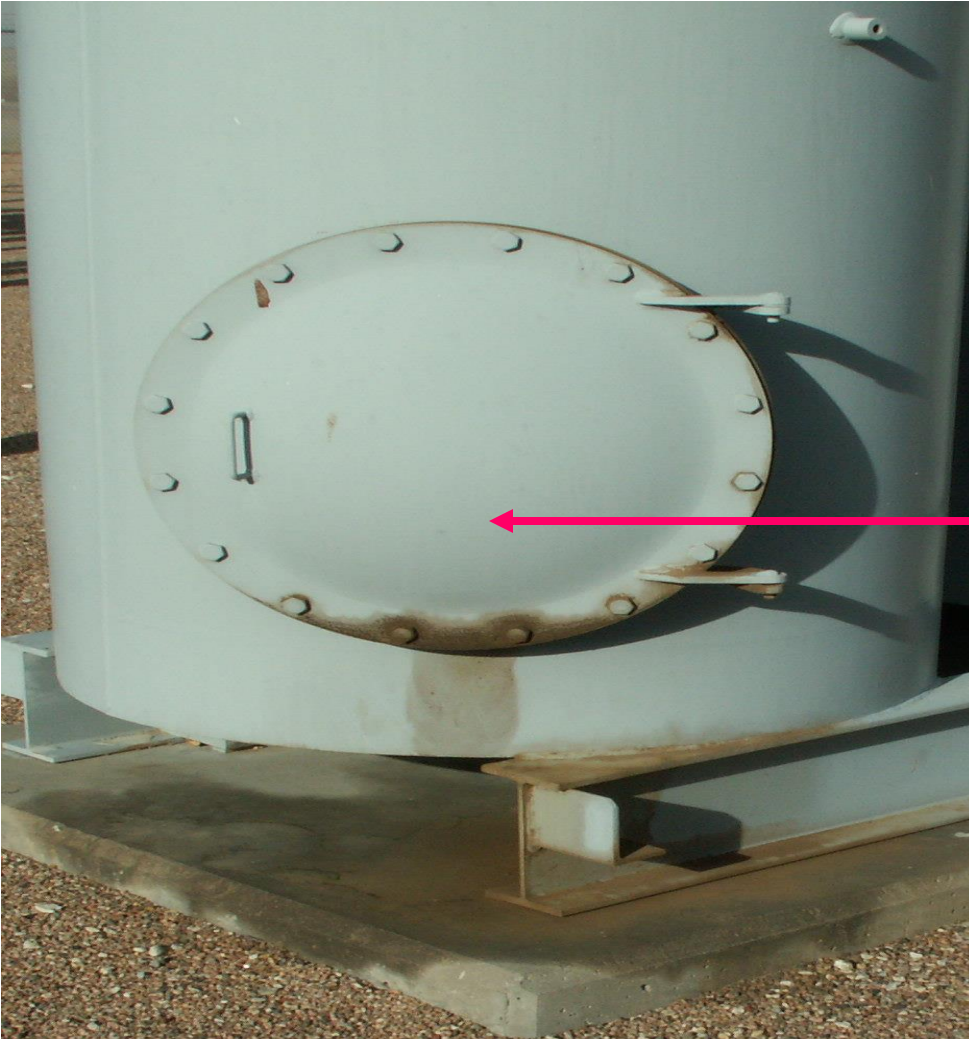
# Disyuntores de aceite



CB de 115 kV



# Disyuntores de aceite



**Tapa de inspección/mantenimiento (boca de inspección)**

# Disyuntores de aceite



**CB de 115 kV El aceite se ha drenado y la mayor parte mantenimiento en progreso**

**Portales de inspección para ver y mantener contactos.**

(Agujero de hombre)

**Ubicación de barras de control y contactos.**



# Disyuntores magnéticos de aire

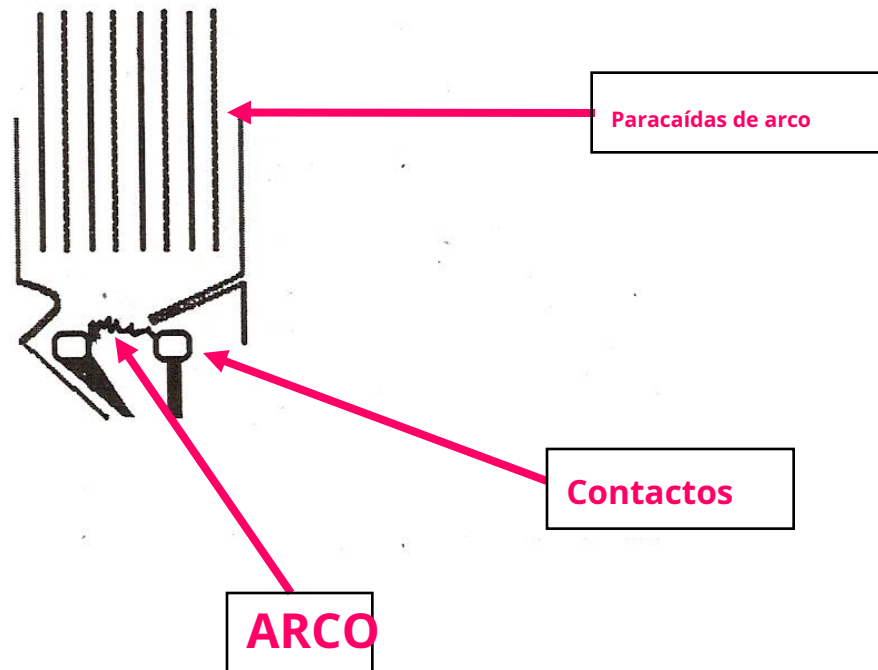


**Disyuntor magnético de aire**



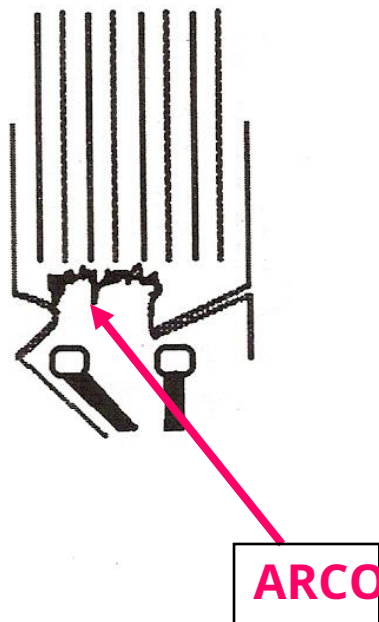
# Disyuntor magnético de arco en aire

Contacts Open and Arc is formed



# Disyuntor magnético de arco en aire

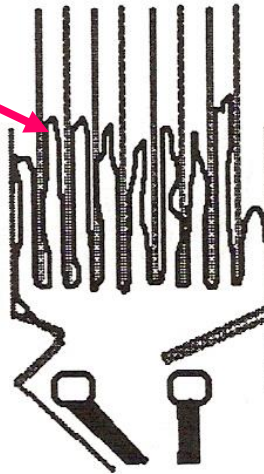
Magnetic field moves arc into  
chutes



# Disyuntor magnético de arco en aire

extiende el arco

Fiber baffle plates



# Disyuntor magnético de arco en aire

Metalic baffle plates



La caída de voltaje en cada deflector extingue el arco

# Disyuntores de chorro de aire

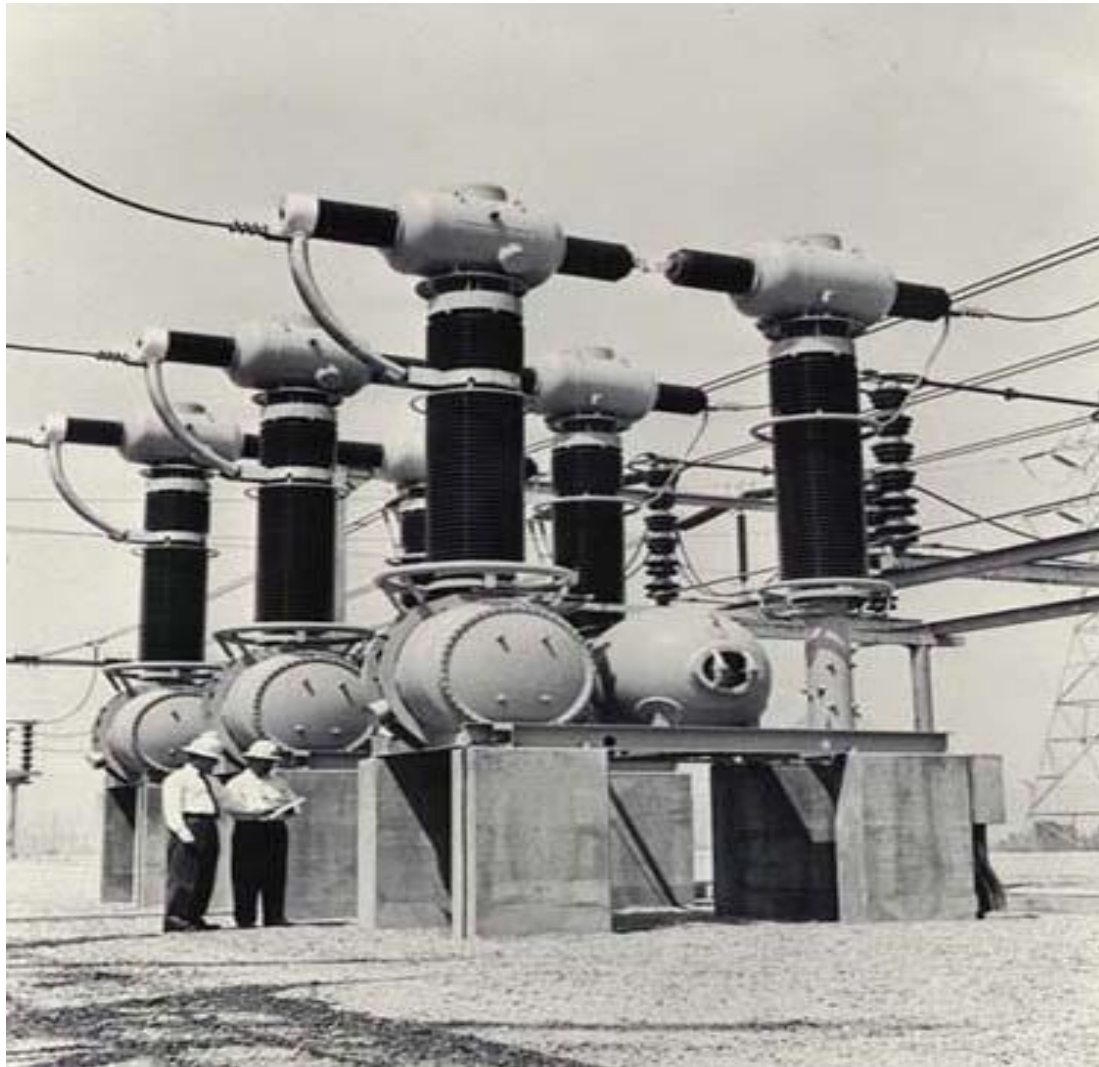
- Disyuntor de chorro de aire
  - Interrumpe el arco por:
    - Una ráfaga de aire a alta presión para estirar y enfriar el arco.
    - A voltajes más altos, el aire presurizado es el medio dieléctrico.
    - La energía descompone el aire
    - Resistencias de apertura para algunas clasificaciones
    - Alto voltaje de arco, altos niveles de corte de corriente

# Disyuntores de chorro de aire

- porcelana presurizada
  - 300 – 600 psig
- Muchos contactos
- Sistemas de compresores
- Complejo
- Ruidoso
- Todavía construido (climas muy fríos) (\$\$\$\$)



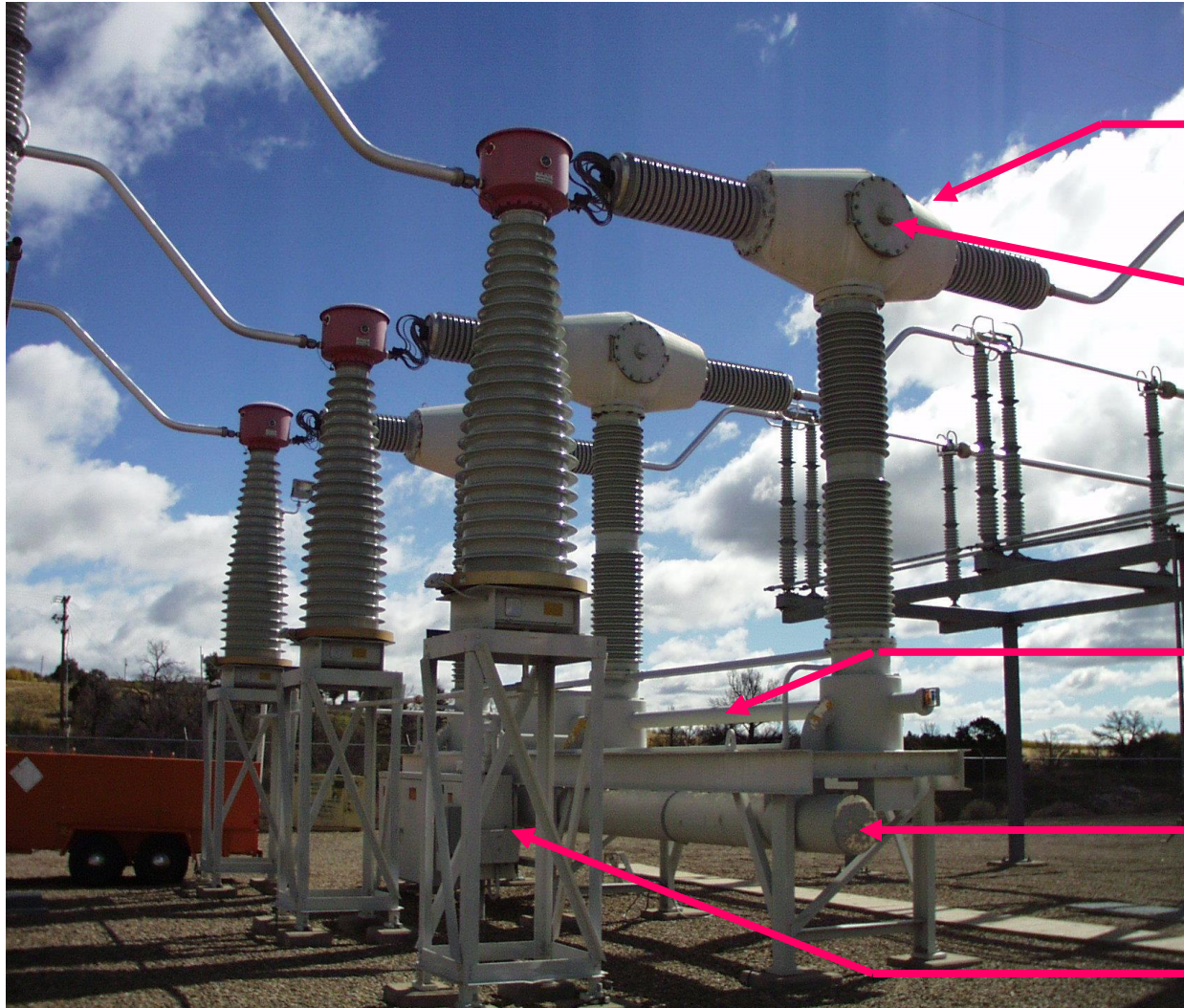
# Disyuntores de chorro de aire



# Disyuntor de explosión de gas (SF<sub>6</sub>)

- Interrumpe el arco usando:
  - SF<sub>6</sub> de baja presión como dieléctrico.
  - Una explosión de SF<sub>6</sub> de alta presión. El gas (almacenado en un depósito) se usa para estirar y enfriar el arco. En asociación con una ráfaga de aire comprimido.
- Se permite que el gas en expansión escape hacia el interior del tanque de la cabeza del interruptor a través del interior del contacto estacionario hueco y las bocinas de arco móvil.
- Este tipo de disyuntores también se conocen como disyuntores de "tanque vivo" ya que el tanque en el que se encuentran los contactos no está conectado a tierra.

# Disyuntor de explosión de gas (SF6)



**Cabeza interruptora**

**Puerta de acceso**

interruptor de corriente de 230 kV  
(Tanque vivo)

**Varillas de tracción horizontales**

**Alta presión**

**Tanque de SF6**

**Calentador de tanque de SF6**



# Disyuntor de explosión de gas (SF6)

**Baja presión**

Medidores de SF6

**Alta presión**

Medidores de SF6

**Gabinete del compresor para el  
disyuntor Gas Blast (SF6)**

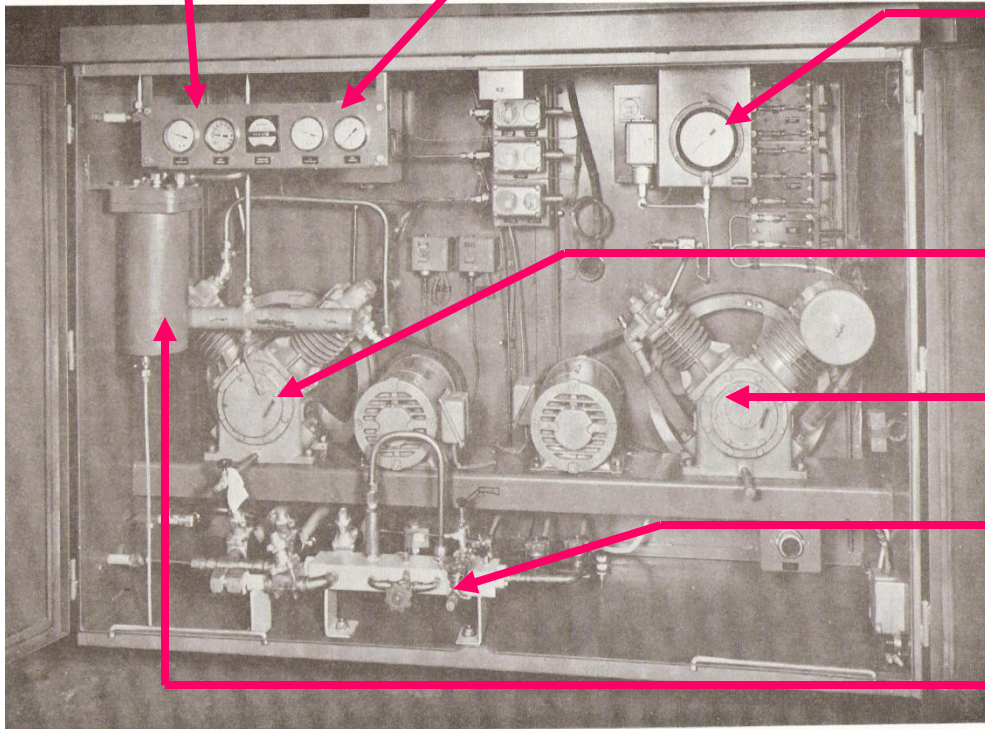
Indicador de presión de aire

Compresor de gas SF6

Compresor de aire

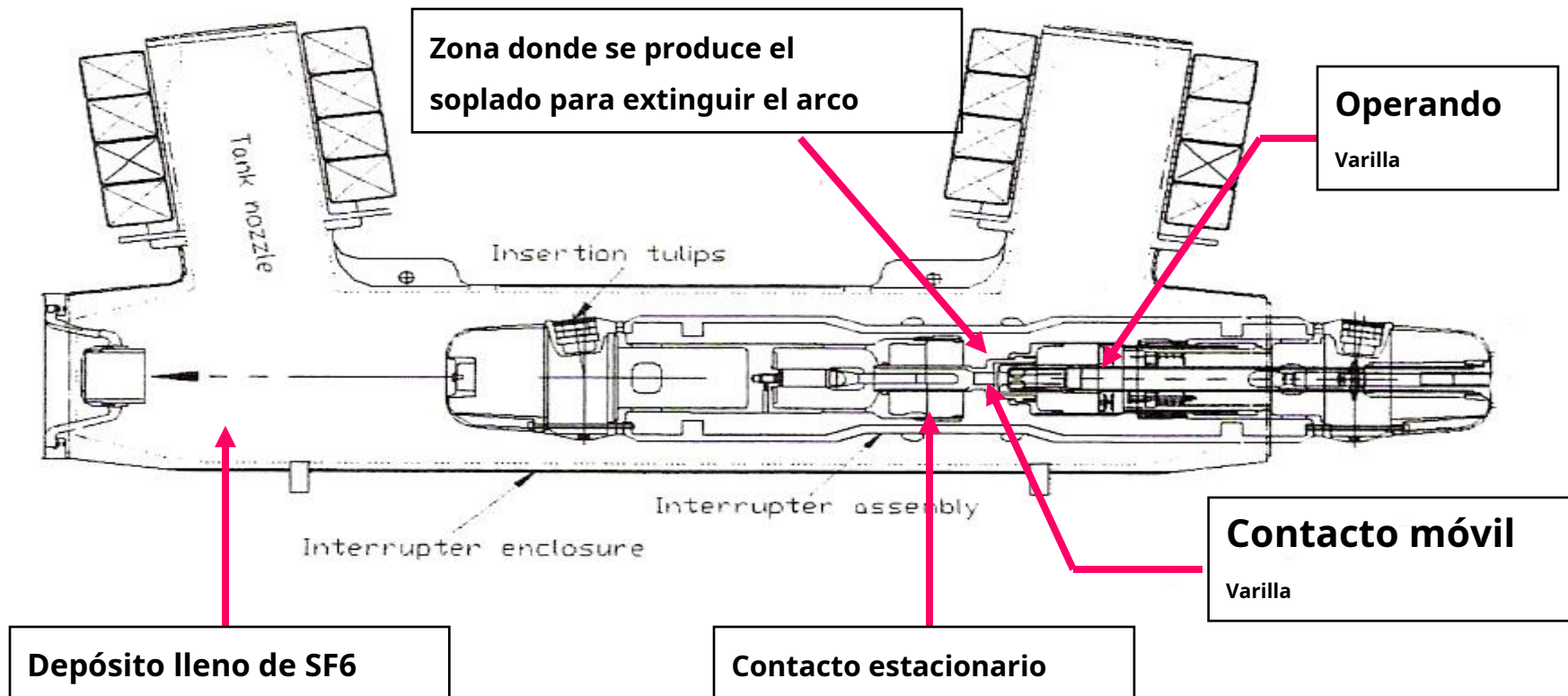
Conexión de llenado de SF6

Filtro/Secador SF6





# Interrupor disyuntor de gas (SF6)

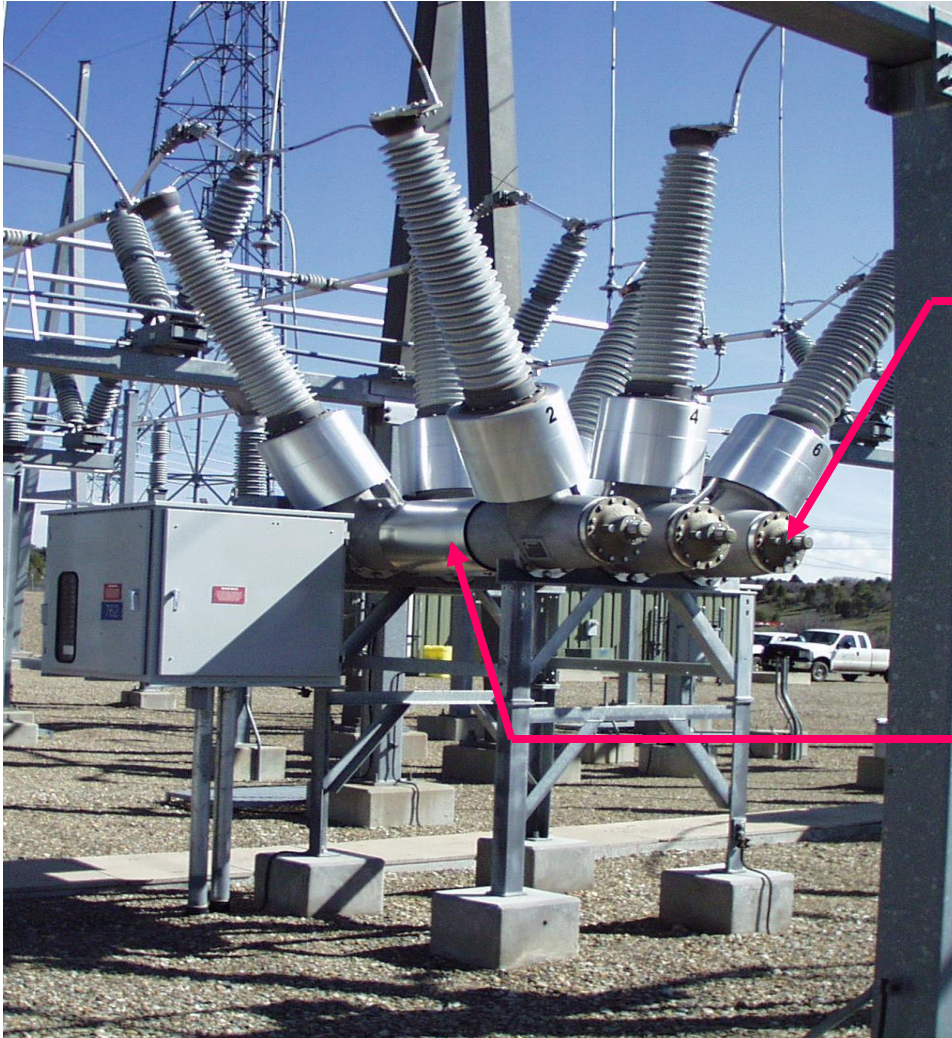




# Disyuntor de soplador de gas (SF<sub>6</sub>)

- Interrumpe el arco usando:
  - SF<sub>6</sub> de baja presión como dieléctrico.
  - SF<sub>6</sub> el gas se comprime en una cámara cuando se abren los contactos principales. Luego, el gas comprimido a alta presión se dirige hacia el arco para estirarlo y enfriarlo.

# Disyuntor de soplador de gas (SF6)



CB de 115 kV

Los interruptores están ubicados dentro de estos tanques (estos tanques se denominan disyuntores de "tanque muerto" ya que el exterior del tanque está conectado a tierra)

Calentadores de tanques de SF6

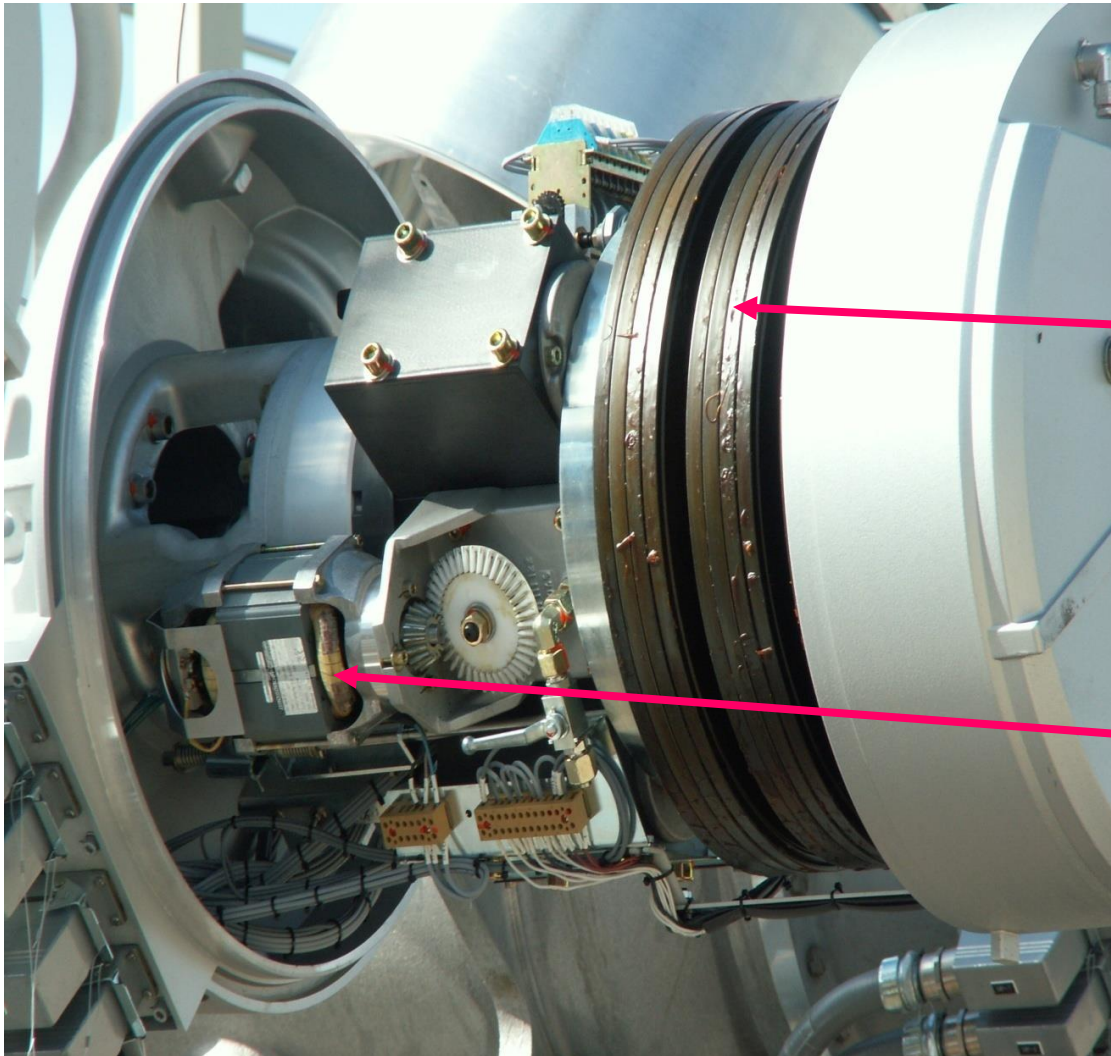
# Disyuntor de soplador de gas (SF6)



**345kV CB como  
está siendo instalado**



# Disyuntor de soplador de gas (SF6)



**Nuevo CB de 345kV  
ABB Puffer CB**

**Mecanismo de operación de  
resorte hidráulico**

**Motor de carga por resorte**

# Disyuntor de soplador de gas (SF6)



**Manómetro de SF6 en  
CB 115kV (Alstom)**

# Disyuntor de soplador de gas (SF6)



**Panel anunciador ubicado en el interruptor. CB de 115 kV (Alstom)**

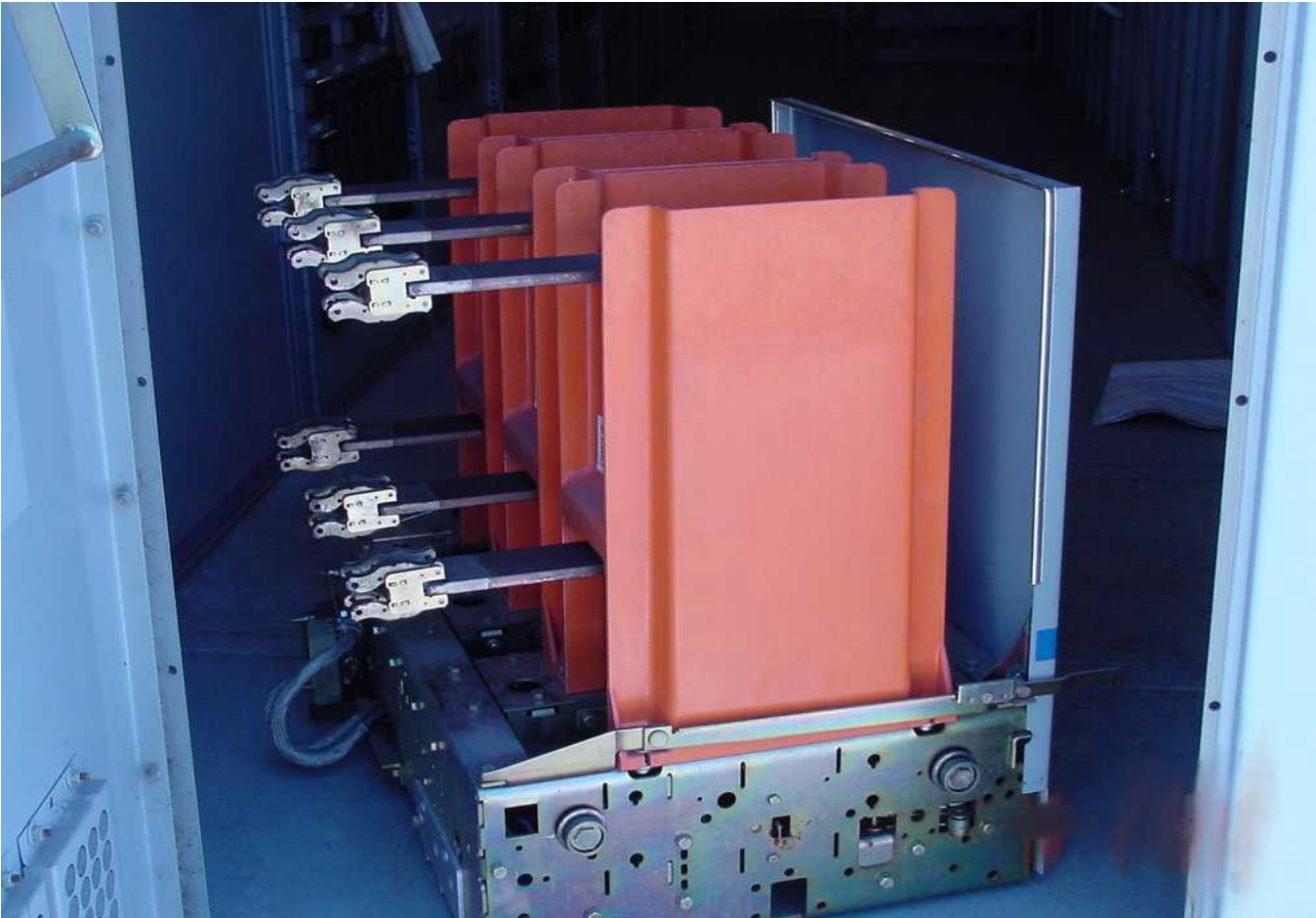


# Disyuntores de vacío

- Interrumpe el arco usando:

Los interruptores de vacío usan un contacto móvil y un contacto estacionario, ambos alojados en una envoltura de metal sellada. Un actuador fuera de la envoltura activa el movimiento del contacto móvil. Dentro del sobre, un escudo de condensación de metal o vidrio rodea los contactos para recolectar el material de contacto evaporado que se libera cuando se dibuja un arco. Dado que el vacío no contiene material conductor, el arco se extingue inmediatamente.

# Disyuntor de vacío



# Calificaciones y consideraciones operativas

- El voltaje de funcionamiento y la cantidad de corriente que el interruptor automático puede interrumpir determinan la clasificación de un interruptor automático. La clasificación de un interruptor automático se basa en los siguientes parámetros:
  - voltaje máximo
  - corriente continua
  - interrupción de las capacidades actuales
- Por ejemplo:
  - Un disyuntor puede tener una tensión máxima de 765 kV, una corriente continua de 3 kA y una capacidad de interrupción de corriente de 63 kA.

# Calificaciones y consideraciones operativas

- Los disyuntores tienen un **máximo continuo** capacidad de transporte de corriente, que es la corriente de carga más alta para la que está diseñado el interruptor automático durante períodos de tiempo prolongados.
- Superar esta clasificación puede provocar un sobrecalentamiento que podría dañar los contactos y el aislamiento del disyuntor.

# Calificaciones y consideraciones operativas

- Los interruptores automáticos también se clasifican de acuerdo con la corriente de falla máxima que son capaces de interrumpir. Se llama ***interrupción máxima*** Actual.
- Las corrientes de falla que excedan la clasificación del interruptor pueden producir arcos con más energía de la que el interruptor puede extinguir. En este caso, el interruptor puede no interrumpir la corriente de falla.



# Calificaciones y consideraciones operativas

- ***tiempo de interrupción*** es el período desde el instante en que la corriente comienza a fluir a través de la bobina de disparo hasta que el interruptor automático interrumpe la falla.
- Las interrupciones típicas se miden en ciclos y varían en el tiempo. En las líneas de transmisión de alta tensión, las interrupciones varían de dos a ocho ciclos.
- ***hora de cierre*** es el tiempo que se tarda en cerrar un interruptor desde el instante en que se energiza la bobina de cierre hasta que la corriente comienza a fluir a través del interruptor.
- Los tiempos de cierre típicos varían de dos a 40 ciclos.

# Calificaciones y consideraciones operativas

- ***poste independiente*** La operación utiliza un mecanismo separado para cada fase del interruptor. La operación de polos independientes permite el disparo de polos independientes (fases) que reducen la posibilidad de un interruptor tripolar atascado por una falla trifásica. También reduce el impacto en el sistema que se produce cuando se interrumpen tres fases.
- Dos tipos de operación de polos independientes son:
  - unipolar
  - polo selectivo

# Calificaciones y consideraciones operativas

- La operación de un solo polo dispara un polo para cada falla de fase a tierra y dispara todos los polos para todos los demás tipos de fallas.
- La operación de polo selectivo borra solo la fase o fases en falla para todos los tipos de fallas.

# Calificaciones y consideraciones operativas

- Otro uso de la operación de polos independientes se realiza mediante la adición de una Unidad de control síncrono (SCU).
- La SCU es un dispositivo de control basado en un microprocesador que permite el cierre o la apertura sincronizados de los polos independientes de un interruptor automático.
- Por ejemplo; cuando se usa con un disyuntor de capacitor, la SCU se puede programar para abrir o cerrar los polos cuando la forma de onda de voltaje de las fases respectivas es exactamente cero, lo que minimiza las sobretensiones transitorias potencialmente dañinas causadas por las operaciones de conmutación del capacitor.

## Interruptores de ruptura de carga

- Los interruptores de ruptura de carga interrumpen la corriente de carga normal pero no pueden interrumpir la corriente de falla. Las empresas de servicios públicos instalan interruptores de ruptura de carga cuando necesitan un método para desconectar un dispositivo para el mantenimiento programado, pero no pueden justificar el gasto de un disyuntor.
- **Por ejemplo:**
- Una empresa de servicios públicos puede instalar un interruptor de ruptura de carga en cualquier lado de un transformador. Si ocurre una falla en el transformador, aislar la falla requiere abrir los interruptores automáticos de la línea que alimenta el transformador.

## Interruptores de ruptura de carga

- Cortar la corriente con un interruptor de ruptura de carga forma un arco largo a través del aire. El arco puede elevarse muchos pies y durar varios segundos antes de que se extienda lo suficiente como para enfriarse y extinguirse. Durante este tiempo, la cuchilla del interruptor se aleja del contacto estacionario. Esto evita que el arco se vuelva a encender.
- Un ejemplo simple de un interruptor de ruptura de carga es el interruptor de luz en la pared de una casa.



## Interruptores de ruptura de carga



## Interruptores de ruptura de carga



# Desconectar interruptores

- Los interruptores de desconexión normalmente no se utilizan para interrumpir las corrientes de carga normales. Los interruptores de desconexión aíslan las líneas y otros equipos, como transformadores o interruptores automáticos, después de que los interruptores automáticos o interruptores de carga hayan interrumpido la corriente. Pueden interrumpir las corrientes de carga a los dispositivos descargados que se están desconectado.
- Los interruptores de desconexión pueden operarse manualmente, pero algunos pueden operarse automáticamente por control remoto o por relés de protección.

# Desconectar interruptores

- El interruptor de desconexión puede ser un interruptor de tipo horizontal o vertical. Cortar la corriente con este dispositivo forma un arco en el aire. El arco puede extenderse muchos pies y durar varios segundos antes de que se extienda lo suficiente como para extinguirse. Durante este tiempo, una cuchilla se aleja de un contacto estacionario. Eventualmente, la cuchilla se aleja lo suficiente del contacto estacionario para evitar que el arco vuelva a encenderse.



# Desconectar interruptores



# Desconectar interruptores





# Desconectar interruptores

- Un tipo especial de interruptor de desconexión de alto voltaje es el interruptor de tierra. Los interruptores de puesta a tierra son interruptores de desconexión que proporcionan una conexión a tierra sólida a una línea eléctrica o a un equipo de la estación, como un banco o un autobús. La función general de un interruptor de tierra es proporcionar una tierra de seguridad.

# Desconectar interruptores

- Los interruptores de tierra proporcionan una manera conveniente de aplicar una tierra de seguridad a una pieza desenergizada. equipo. Protegen al personal de mantenimiento de la reactivación accidental del equipo.
- También brindan cierta protección contra la carga almacenada en el equipo o la carga inducida de equipos energizados cercanos. Sin embargo, esta protección generalmente se considera inadecuada y las cuadrillas usan terrenos personales en el lugar de trabajo.

# Desconectar interruptores

- Un conmutador de circuito es un tipo de interruptor de desconexión que tiene una capacidad de interrupción limitada y se utiliza principalmente para conmutar condensadores y reactores. También se puede utilizar para aislar secciones de una línea.

# Conmutador de circuito

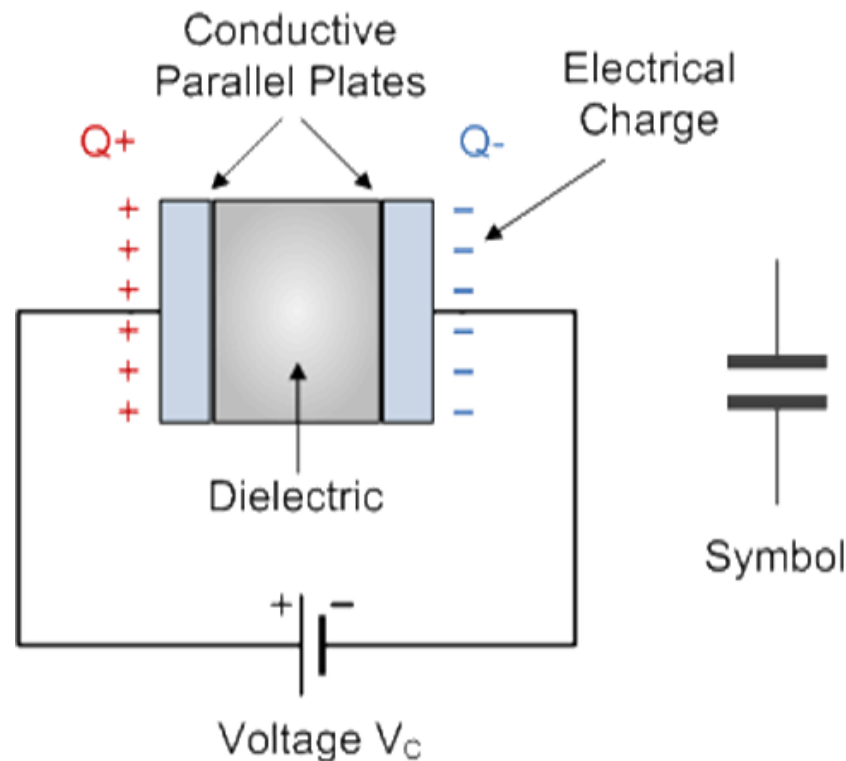


## Falla del conmutador de circuito



# Condensadores

- Un capacitor es un conjunto de placas de metal separadas por un material aislante, llamado dieléctrico. Los capacitores introducen capacitancia en un circuito.



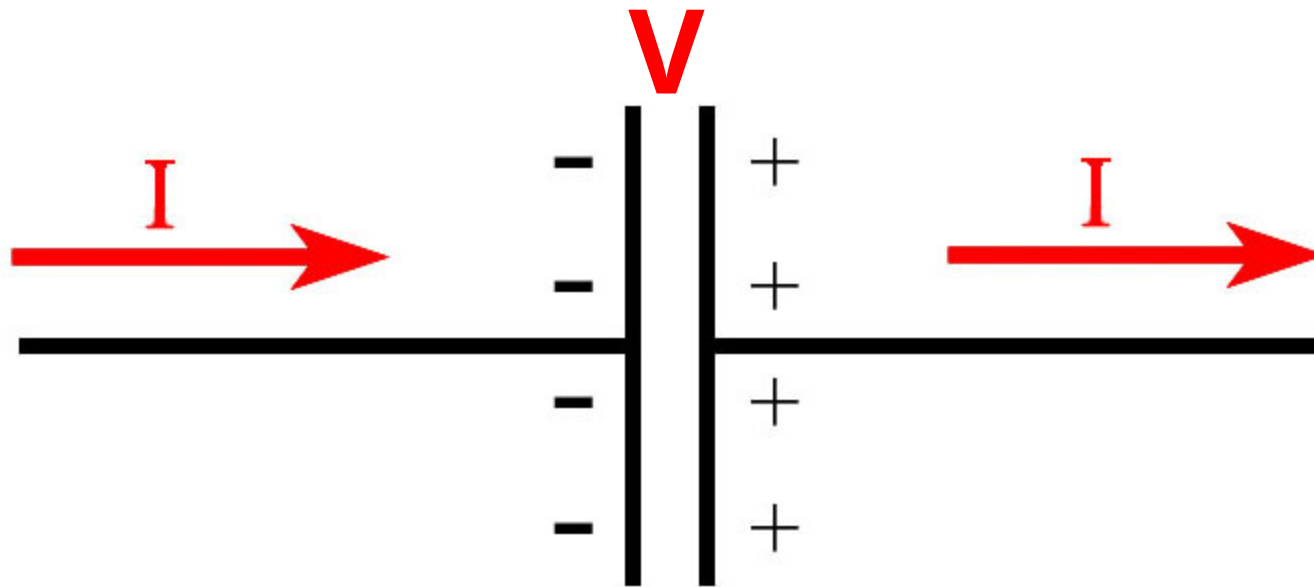


## Condensadores

- Recordar de leer ***Módulo 2: Fundamentos de Electricidad***, esa capacitancia es la capacidad de oponerse al cambio de voltaje mediante el uso de energía almacenada en un campo eléctrico.
  - La capacitancia, medida en faradios, aumenta a medida que aumenta el área de la placa.
  - La capacitancia disminuye a medida que aumenta el espaciado de las placas.

# Recordando

La corriente conduce al voltaje en un circuito capacitivo.



La corriente fluye inmediatamente al otro lado, pero el voltaje se acumula a través del condensador.

# Condensadores

- Los vars que fluyen sobre una línea de transmisión o un alimentador de distribución provocan caídas de voltaje entre la fuente y la carga. La corriente asociada con el flujo Var también reduce la capacidad del circuito para transportar vatios y aumenta la pérdida de potencia. Si hubiera una forma de generar Vars en cada carga, podríamos eliminar el flujo excesivo de Var.
- Generalmente, las empresas de servicios públicos usan condensadores en bancos (grupos de condensadores). Dado que no es práctico desde el punto de vista físico o económico generar Vars en cada carga, las empresas de servicios públicos instalan bancos de capacitores en derivación tan cerca de la carga como sea práctico para generar Vars.

## Condensadores

- Debido a que se necesita tiempo para descargar una carga almacenada de un capacitor, generalmente se impone un tiempo mínimo entre las operaciones de conmutación del capacitor para permitir que el capacitor se descargue.

# Condensadores

- Los capacitores tienen muchos usos en el sistema de energía, incluyendo:
  - Regulación de voltaje: las empresas de servicios públicos instalan capacitores para mantener el voltaje dentro de los límites preestablecidos **generando Vars.**
  - Corrección del factor de potencia: las empresas de servicios públicos instalan condensadores de derivación en los circuitos de distribución para mejorar el factor de potencia.

# Condensadores

- Reducción de la inductancia: las empresas de servicios públicos instalan capacitores en serie con largas líneas de transmisión de alto voltaje para compensar la inductancia en serie. Esto mejora la estabilidad y aumenta la capacidad de transferencia de potencia. Discutimos la estabilidad en ***Módulo 9: Principios de Operación de Sistemas de Potencia.***
- Dispositivos de medición para el sistema de protección: los transformadores de voltaje de capacitancia de acoplamiento (CCVT) son pilas de capacitores y resistencias. Los CCVT miden el voltaje en las líneas de transmisión de 100 kV y más. Discutimos los CCVT con más detalle en ***Módulo 8: Protección del Sistema.***



# Condensadores

- Comunicaciones para portadora de línea eléctrica: los condensadores son ideales para acoplar señales portadoras de línea eléctrica de alta frecuencia a la línea eléctrica debido a la baja impedancia del condensador a las señales de alta frecuencia. Recordar de ***Módulo 2: Fundamentos de Electricidad***, que la magnitud de la impedancia de un condensador es  $1/(2\pi fC)$ , por lo que cuanto mayor sea la frecuencia, menor será la reactancia capacitiva (impedancia).
- Filtros para señales de alta frecuencia no deseadas: los condensadores filtran las señales de alta frecuencia de los voltajes de la línea de alimentación. Esta aplicación es particularmente importante en los terminales de convertidores de línea de corriente continua de alto voltaje (HVDC) donde los convertidores crean frecuencias armónicas.

# Condensadores

- Las empresas de servicios públicos instalan bancos de capacitores en derivación, generalmente conectados en un lugar con conexión a tierra o

Configuración WYE (estrella) sin conexión a tierra, con protección de fusibles para fases individuales, o unidades de condensadores individuales, según el tipo de instalación.

# Condensadores



# Condensadores



# reactores

- Un reactor de derivación es un inductor (o una bobina) conectado desde el conductor a tierra. Los reactores de derivación absorben Vars, produciendo el efecto opuesto de los condensadores de derivación.
- Las empresas de servicios públicos utilizan reactores para realizar las siguientes funciones:
  - Cancelación de los efectos de la capacitancia en derivación de las líneas de transmisión: las empresas de servicios públicos instalan reactores en derivación en los terminales de las líneas de transmisión largas para reducir los efectos del aumento de voltaje de la capacitancia en derivación de las líneas. La instalación de reactores de derivación puede afectar los procedimientos normales de conmutación.



# reactores

- Limitar la magnitud de la corriente de falla: las empresas de servicios públicos pueden insertar reactores en serie con secciones de bus en funcionamiento y, a menudo, insertar reactores en serie con circuitos de distribución para limitar la magnitud de la corriente de falla. Esto es particularmente útil en las subestaciones que están cerca de las estaciones generadoras y en las principales instalaciones de transmisión, donde la magnitud de la corriente de falla puede exceder la clasificación de interrupción del interruptor automático. Las empresas de servicios públicos también insertan reactores en la subestación de distribución neutro del transformador para limitar el flujo de corriente de falla a tierra.



# reactores

- Filtro para señales de alta frecuencia no deseadas: las empresas de servicios públicos utilizan reactores junto con condensadores para filtrar las señales de alta frecuencia de los voltajes de la línea de alimentación. Esta aplicación es particularmente importante en los terminales de convertidores de línea HVDC para filtrar las frecuencias armónicas creadas por el equipo convertidor.
- Regulación de voltaje: las empresas de servicios públicos usan reactores para mantener el voltaje dentro de los límites preestablecidos mediante la absorción de Vars.

# reactores

- Los bancos de reactores de derivación para aplicaciones de alto voltaje generalmente se sumergen en tanques llenos de aceite similares a los transformadores de potencia. Las consideraciones operativas identificados para los transformadores también se aplican a los bancos de reactores sumergidos en aceite. (Ocuparse de ***Módulo 6: Transformadores, para más información.***)
- Para aplicaciones de bajo voltaje (p. ej., aplicaciones de distribución), las empresas de servicios públicos utilizan unidades enfriadas por aire de tipo seco. Estas unidades requieren poco o ningún mantenimiento.

# reactor de línea



# Reactor Terciario de Baja Tensión (13.8kV)





# Reactor terciario de baja tensión



# Condensador síncrono

- ***Acondensador síncrono*** cambia el factor de potencia del sistema al generar o absorción de VAR.
- Un condensador síncrono es básicamente un motor síncrono sin carga mecánica o un generador síncrono sin motor primario. El condensador tiene un circuito de control que proporciona control de voltaje al controlar la excitación del campo.



# Condensador síncrono



# Condensador síncrono

- Si el voltaje del sistema disminuye por debajo de un valor especificado, el circuito de control aumenta la excitación del campo. Esto hace que la sincronía condensador para suministrar Vars al sistema, actuando como un condensador o generador sobreexcitado.
- Si el voltaje del sistema aumenta por encima de un valor especificado, el circuito de control disminuye la excitación del campo. Esto hace que la sincronía condensador para absorber los VAR del sistema, actuando como un reactor o generador subexcitado.

# Pararrayos

- Los pararrayos protegen los transformadores y otros equipos del sistema de energía de las sobretensiones al derivar la sobretensión a tierra. Los pararrayos evitan descargas disruptivas y daños graves al equipo.
- Pararrayos, también llamados ***pararrayos***, conducir corriente de alto voltaje a tierra sin producir un voltaje excesivo. El pararrayos comienza a conducir electricidad a un nivel de voltaje específico muy por encima del voltaje de operación. Luego, el pararrayos se convierte en un circuito abierto cuando el sobrevoltaje disminuye y la corriente que fluye a través del pararrayos cae a un valor bajo.

# Pararrayos

Pararrayos

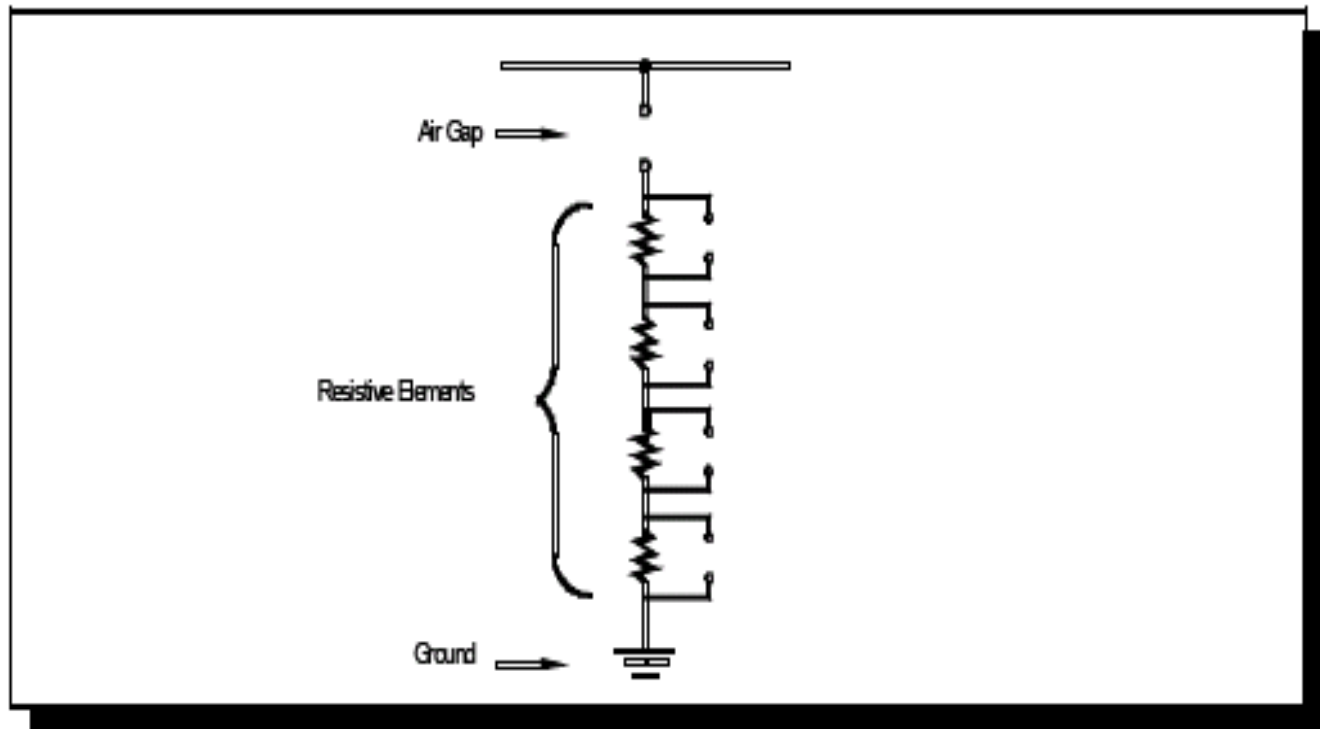


# Pararrayos

- Un pararrayos incluye los siguientes elementos:
  - entrehierro
  - elementos resistivos
  - conexión a tierra

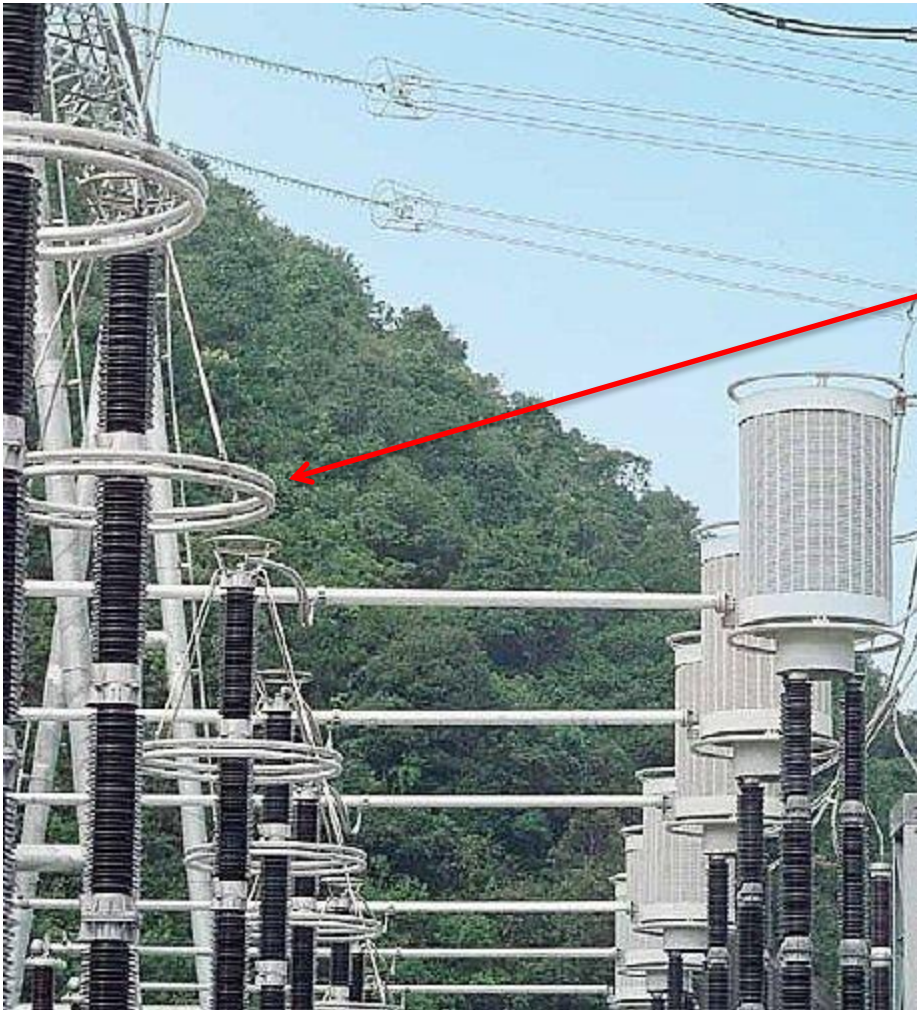
# Pararrayos

- El espacio de aire permite que una sobretensión de alto voltaje salte a través del espacio a tierra.
- Los elementos resistivos permiten el flujo de corriente de alto voltaje, pero evitan el flujo de corriente al voltaje de línea.



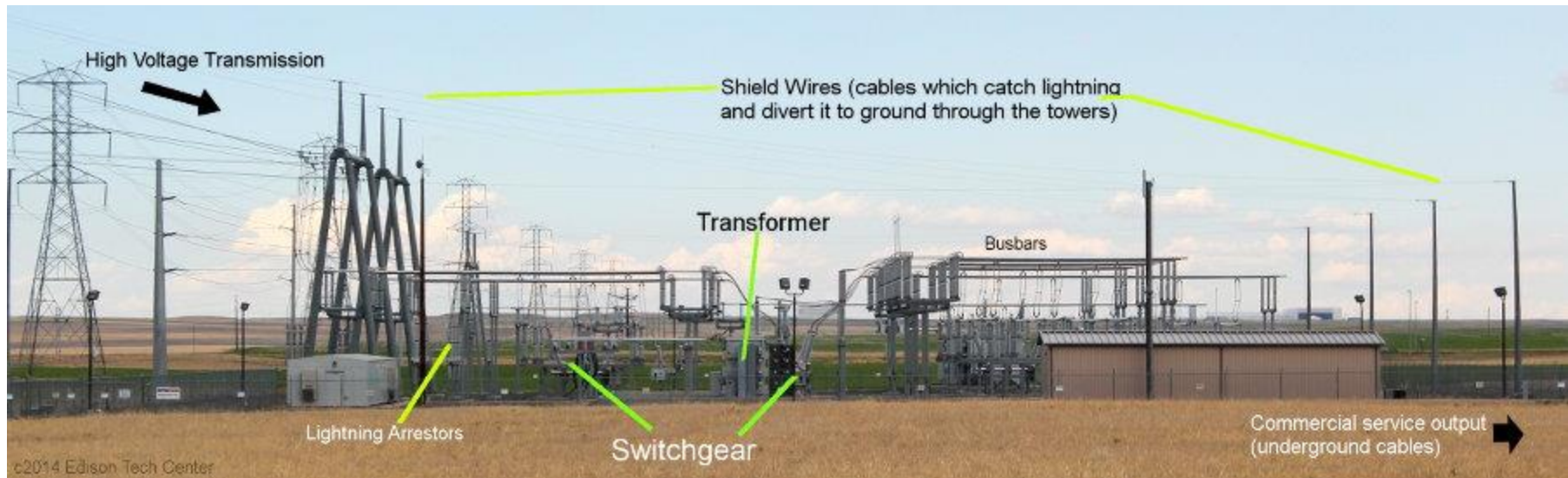


# Pararrayos



Pararrayos

# Pararrayos



# Trampas de olas

- ***Atrampa de olas***, También llamada trampa de línea, es un dispositivo que presenta:
  - una impedancia muy alta a las señales de alta frecuencia
  - una impedancia despreciable a las frecuencias del sistema de potencia
- Las trampas de onda realizan las dos funciones siguientes:
- Evita que la energía del sistema de comunicación fluya hacia el bus de la subestación. Sin trampas de ondas, los portadores de una línea pueden interferir con los portadores de líneas eléctricas de otras líneas conectadas al bus. Esto comprometería la integridad del sistema de protección. Discutimos los sistemas de protección en detalle en ***Módulo 8: Protección del Sistema***.

## Trampas de olas

- Evita que una falla a tierra externa detrás de los relés de protección cortocircuite la señal portadora en la línea sin falla. En ***Módulo 8: Protección del sistema***, examinamos cómo el sistema de protección envía una señal de bloqueo para evitar disparos durante tales fallas. Si el portador hace un cortocircuito, puede ocurrir un falso disparo.

# Trampas de olas



# Casa de control de la subestación

- Recordar de leer ***Sección 5-1: Propósito de las Subestaciones***, que una subestación incluye un edificio que alberga protección, control, medida, comunicaciones y otros equipos. Este edificio es la casa de control de la subestación.
- Los relés y medidores en la casa de control reciben información del equipo del sistema de energía en la subestación a través de cableado en un conducto subterráneo. La información recibida incluye:
  - Corrientes de TC
  - voltajes de TP
  - estados de los interruptores automáticos



## Casa de control de la subestación

- Los relés de protección, el control de supervisión, los controladores lógicos programables y/o los interruptores de control manual envían señales de control a los equipos de alimentación de la subestación.

# Paneles de control

- Los servicios públicos montan el equipo de la casa de control en paneles verticales. Las tapas frontales de los relés de protección y de los contadores son visibles a través del panel. Esto proporciona una forma para que los operadores de subestaciones obtengan objetivos de retransmisión y lean medidores fácilmente. El acceso al cableado de cada dispositivo se encuentra detrás del panel.

# Paneles de control

- El panel de control del transformador generalmente incluye los siguientes elementos:
  - Relés de protección.
  - Medidores que muestran la corriente del lado alto y bajo y otras cantidades del transformador.
  - Interruptores de control que operan cambiadores de tomas de carga.
  - Anunciadores de alarma que proporcionan advertencias de condiciones anormales, como sobrecarga del transformador, alta temperatura o alta presión de gas.  
(Los sistemas de comunicaciones envían estas indicaciones de alarma a los centros de control).

# Mitad superior del panel de relés del transformador



# Mitad inferior del panel de relés del transformador



# Panel de relés y transformadores





# Panel de control de la línea de transmisión

- Un panel de control de línea de transmisión generalmente incluye los siguientes elementos:
  - interruptores de control que operan manualmente los interruptores automáticos asociados con la línea
  - lámparas de estado que indican el estado del interruptor automático
  - lámparas de estado que indican el estado de la bobina de disparo del interruptor automático
  - lámparas de estado que indican si la línea está energizada
  - medidores que indican el voltaje de la línea, la corriente y el flujo de energía
  - transmisores y receptores de comunicación para los sistemas de protección asociados a la línea
  - anunciadores de alarma que indican condiciones anormales, como bajo voltaje o baja presión del disyuntor

# Panel de relés de línea de transmisión



# Otro equipo

- Además del equipo que se encuentra en los paneles de control, las casetas de control contienen el siguiente equipo:
  - baterías de estaciones y cargadores de baterías de motogeneradores
  - Unidades terminales remotas EMS/SCADA
  - Interfaz hombre-máquina/controlador lógico programable
  - registradores de fallas y secuencias de eventos
- Examinaremos cada uno de estos por separado en las próximas páginas, comenzando con la batería de la estación.

## Batería de la estación

- La batería de la estación proporciona energía de CC al circuito de control de la estación, que opera otros equipos, como las bobinas de disparo de un disyuntor.
- El número de celdas en la batería de la estación determina cuál será el voltaje apropiado de la batería. Por ejemplo, un sistema de batería de 60 celdas tendrá un voltaje nominal de 125 V CC.
- Las baterías deben proporcionar suficiente voltaje para hacer funcionar los interruptores automáticos y otros equipos vitales de la subestación durante un período de tiempo limitado. La CA de la subestación mantiene la carga de las baterías a través del cargador de baterías.

## Batería de la estación

- En las subestaciones críticas de alto voltaje, las empresas de servicios públicos pueden instalar dos baterías separadas: una primaria y una de respaldo. Una fuente separada carga cada batería.
- Las empresas de servicios públicos revisan periódicamente las baterías de la subestación en busca de bajo voltaje o celdas muertas. Corrigen cualquier problema de inmediato, ya que los interruptores automáticos necesitan alimentación de CC para dispararse.

# Batería de la estación





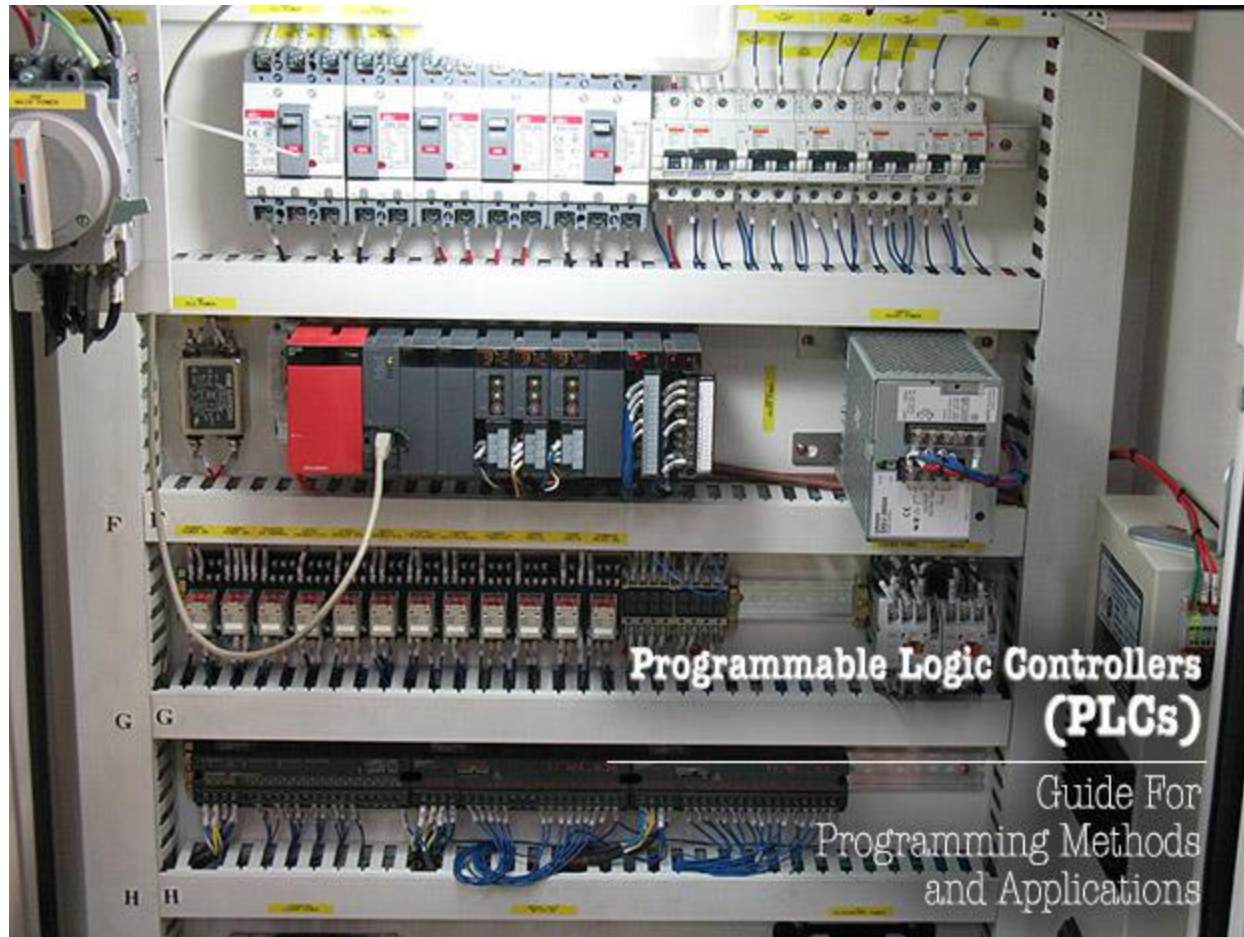
# EMS/SCADA RTU

- Las unidades terminales remotas (RTU) proporcionan una interfaz entre el equipo de la subestación y el sistema EMS/SCADA en el centro de control. Las RTU reciben señales de cantidades importantes de subestaciones (voltajes, corrientes, estados de equipos y alarmas) y las transmiten a una estación maestra en el centro de control.
- Por el contrario, los operadores del sistema envían señales de control a los equipos de la subestación a través de las RTU. Analizamos las funciones del software EMS con más detalle en ***Módulo 9: Principios de Operación de Sistemas de Potencia.***

# Controlador lógico programable/HMI

- Con la llegada de los asequibles relés basados en microprocesadores y controladores lógicos programables, los nuevos equipos están comenzando a poblar las subestaciones.
- ***Controladores lógicos programables (PLC)*** realizar todas las operaciones de reconexión de líneas y bancos en lugar de un reconectador electromecánico convencional. Además de las operaciones de reconexión estándar, el PLC se puede programar para realizar una reconexión condicional, como solo volver a cerrar un disyuntor de línea al detectar una línea energizada y luego solo después de un período de tiempo predeterminado.

# Controlador lógico programable



# Controlador lógico programable/HMI

- ***Interfaces hombre-máquina (HMI)*** contienen la base de datos de información recopilada de la PLC, así como cualquier relé de protección electrónica conectado a la HMI y actúa como intermediario entre el PLC y la RTU. La mayor parte de la conmutación remota y manual Las operaciones se realizan a través de la HMI.

# Panel de pantalla táctil HMI



Orión #1

Orión #2

PC endurecido

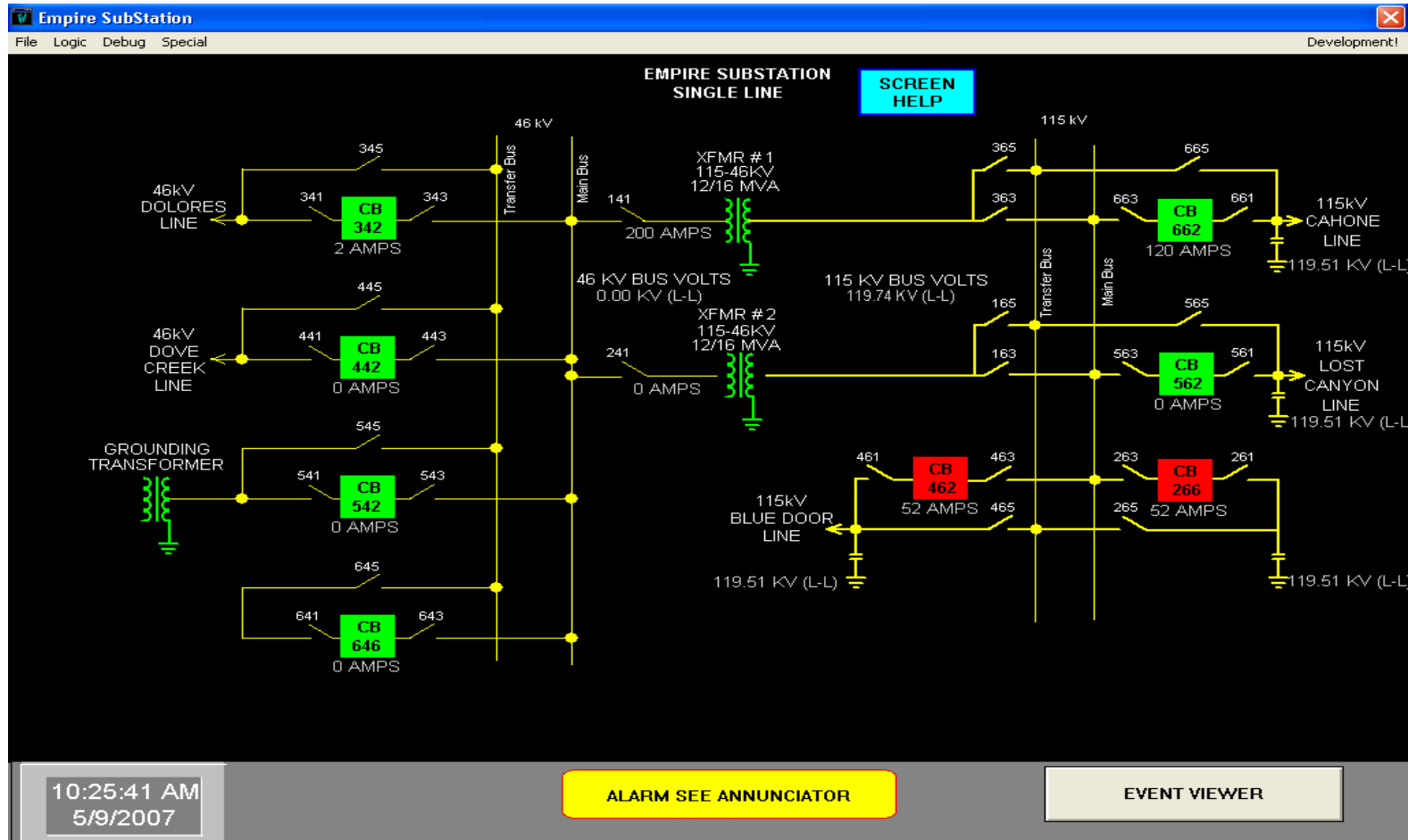
Pantalla táctil

Mostrar

Teclado

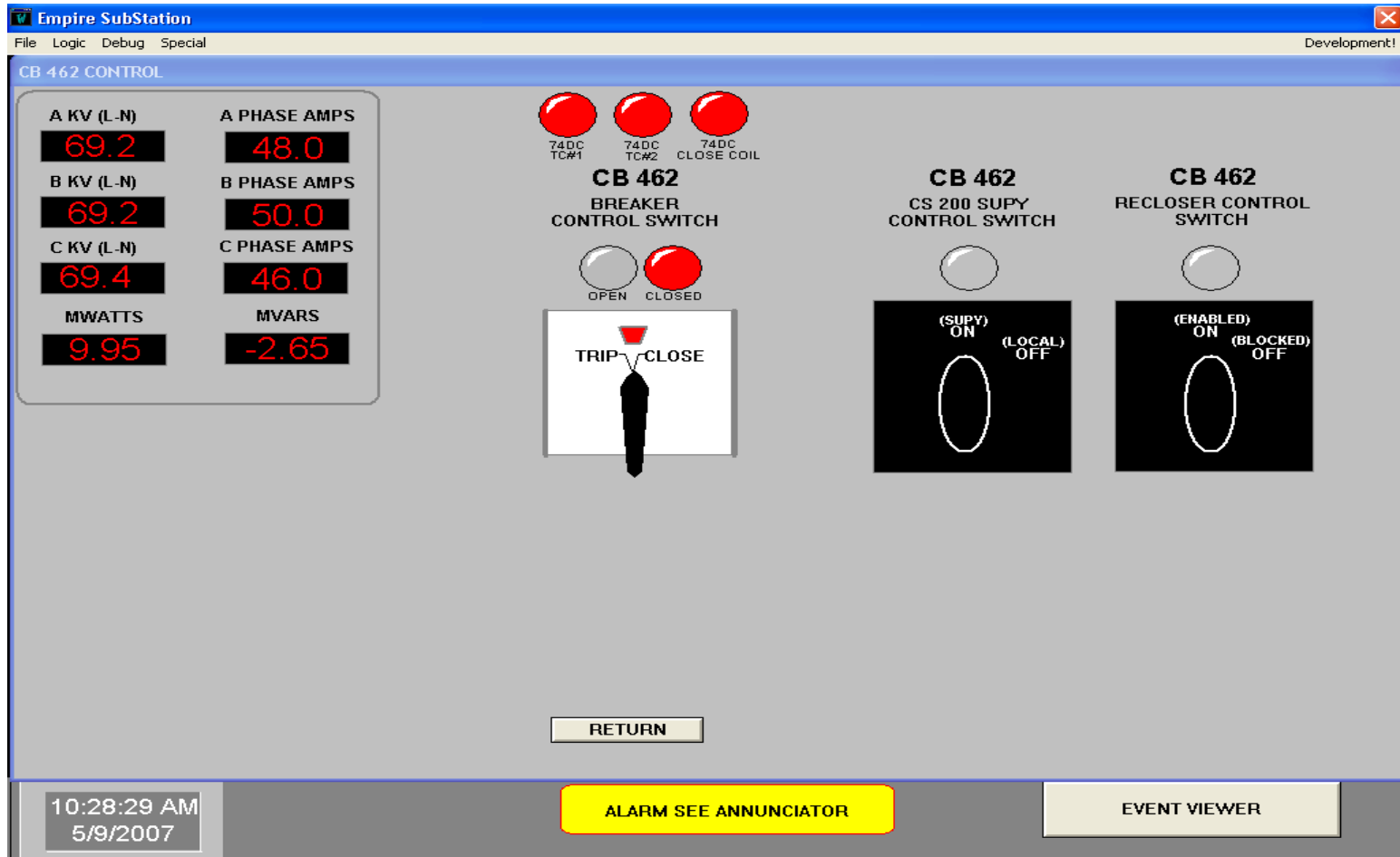
Enrutador Ethernet

Reloj satelital



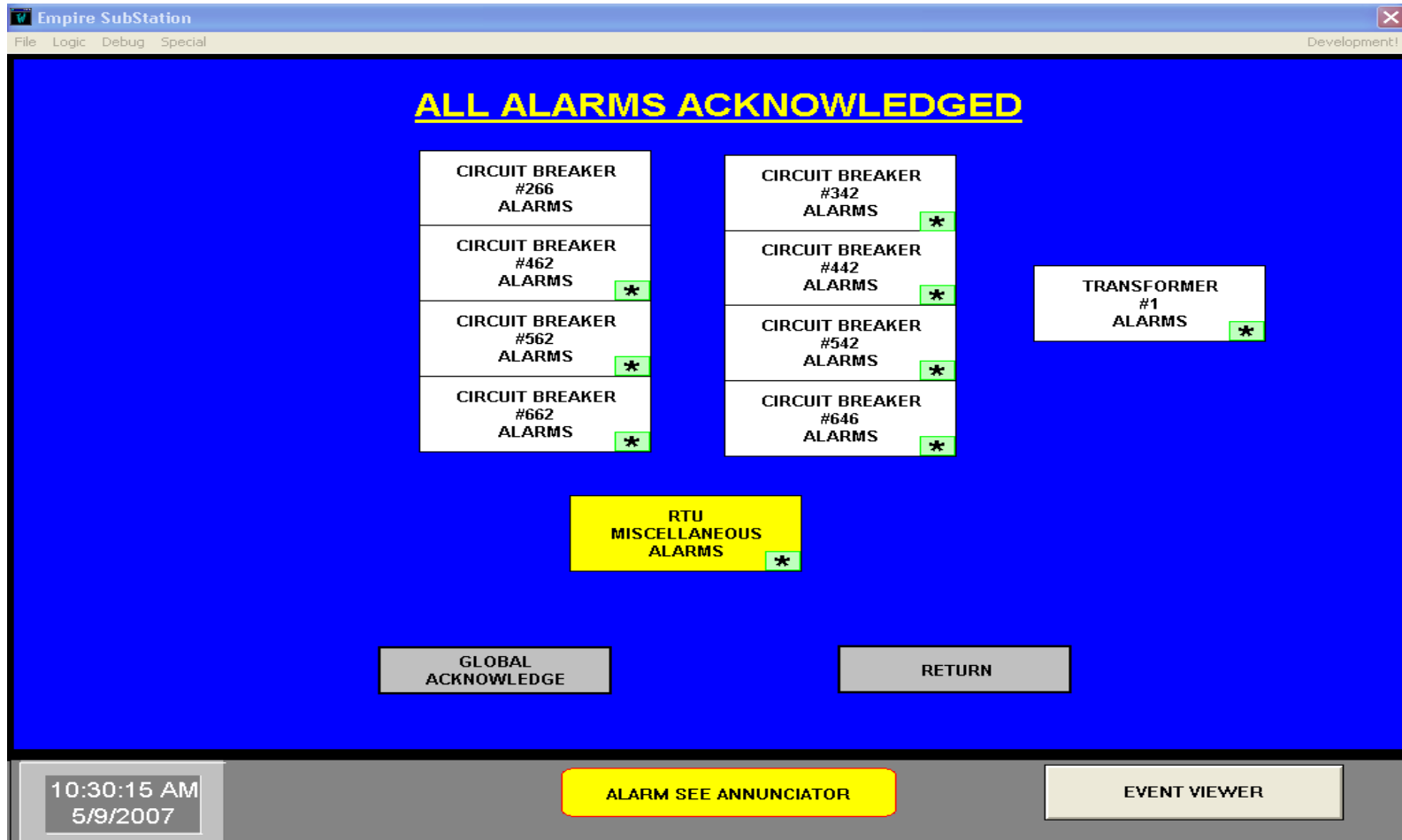


# Controles HMI y pantalla de medición



# Pantalla táctil HMI

## Anunciador general



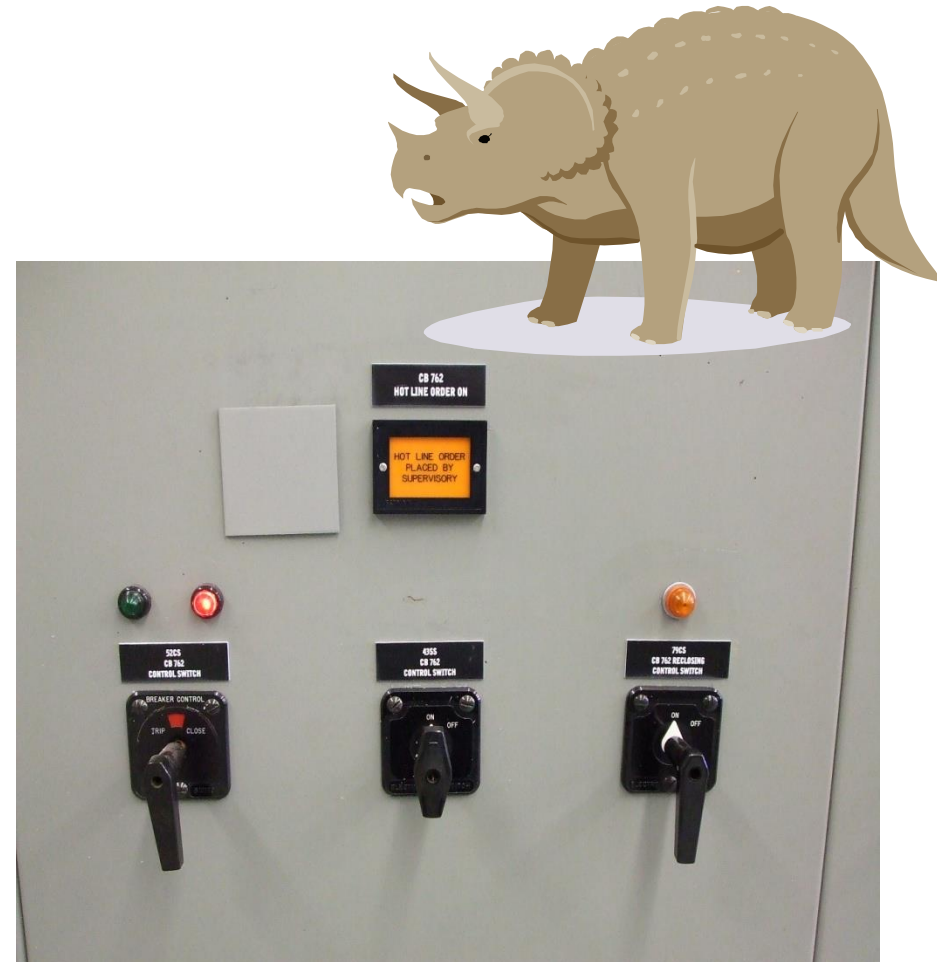
# ¿Recuerdas los viejos tiempos?

## Manijas de control

Interruptor de control de interruptor 52CS

Interruptor de control de relé de recierre 79CS

Interruptor de control de supervisión 200CS



Los botones pulsadores han reemplazado las manijas de control.

- Presione el botón ABRIR para abierta el disyuntor
- Pulse el botón CERRAR para cerca el disyuntor
- Presione el botón del Relé del Reconectador ON/OFF.
- Presione el botón de control de supervisión ON/OFF.
- Mismas funciones, menos cableado.



## Caja de control todo en uno

- Medición de paneles
- Indicación abierta
- Indicación de cierre
- Indicación de reconectador apagado
- Indicación de supervisión apagada
- Indicación de orden de línea activa
- Fallo de comunicación 21P



# Registrador de fallas y secuencias de eventos

- Las subestaciones críticas generalmente incluyen subsistemas que recopilan y almacenan la información necesaria para analizar eventos anormales. Dos de estos subsistemas son registradores de fallas y registradores de secuencia de eventos. **Registradores de fallas** registrar, en papel o en la memoria de la computadora, las formas de onda críticas de corriente y voltaje en el momento de cualquier falla. Los ingenieros de sistemas analizan los resultados.



# Registrador de fallas



# Registrador de fallas



Registrador digital de fallas  
montado en una estación  
de 225kV.

# Registrador de fallas y secuencias de eventos

- ***Secuencia de eventos (SOE)*** los registradores rastrean el orden en que ocurren los eventos, como los eventos en una operación de relé o la apertura de un interruptor de circuito. Si observamos estos eventos, parecería que suceden en el mismo instante. Sin embargo, las grabadoras SOE identifican el orden correcto de los eventos con una resolución de hasta un milisegundo. Esto la información suele ser útil para determinar si los sistemas de protección funcionaron como se esperaba.

# Configuraciones de bus de subestación

- Existen cinco métodos básicos para conectar buses, interruptores automáticos y circuitos. Las empresas de servicios públicos pueden variar su método para cumplir con sus requisitos individuales basados en los siguientes factores: costo, aplicación y grado requerido de continuidad y confiabilidad del servicio.

# Configuraciones de bus de subestación

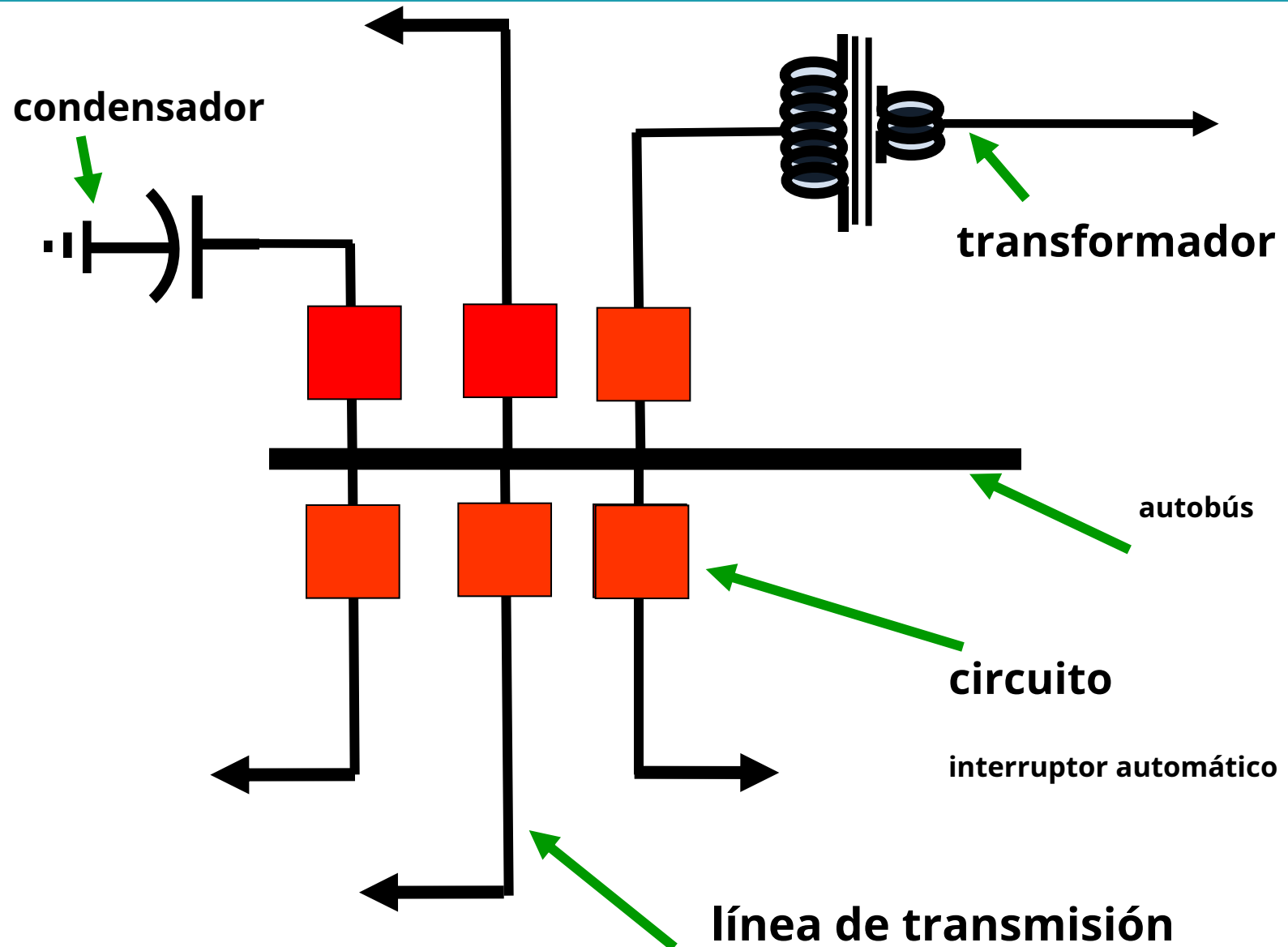
- Los cinco arreglos básicos son:
  - Autobús individual
  - Autobús principal y de transferencia
  - Autobús de anillo
  - Disposición de interruptor y medio
  - Disposición de barra doble-interruptor doble
- Examinaremos cada uno de estos arreglos en las próximas páginas.

# ¿Qué es un Bus o Bus Bar?

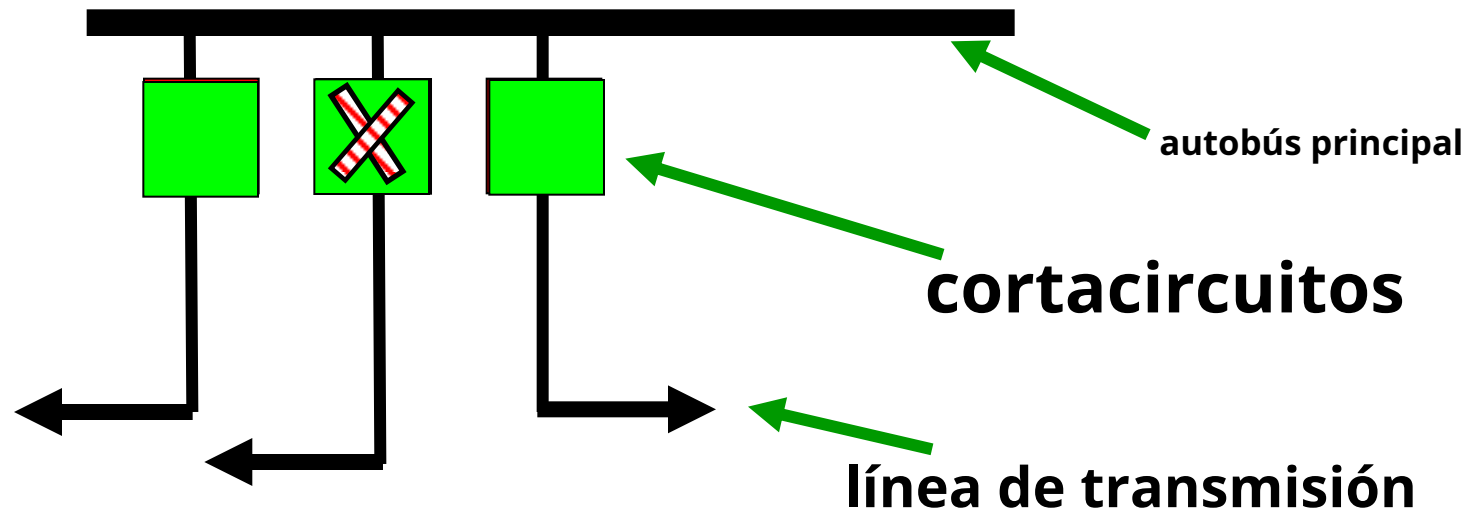




## Cómo funciona un autobús



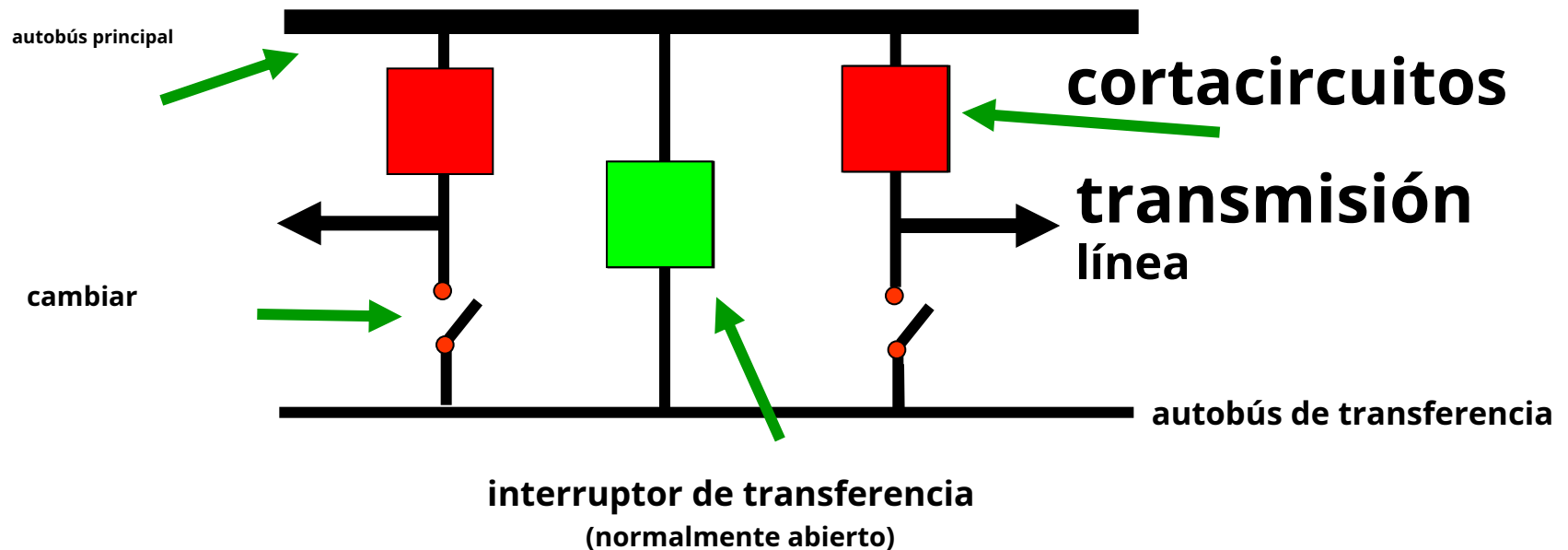
# Bus único – Interruptor único



Cada línea está protegida por un solo disyuntor. Corte del interruptor aísla la línea

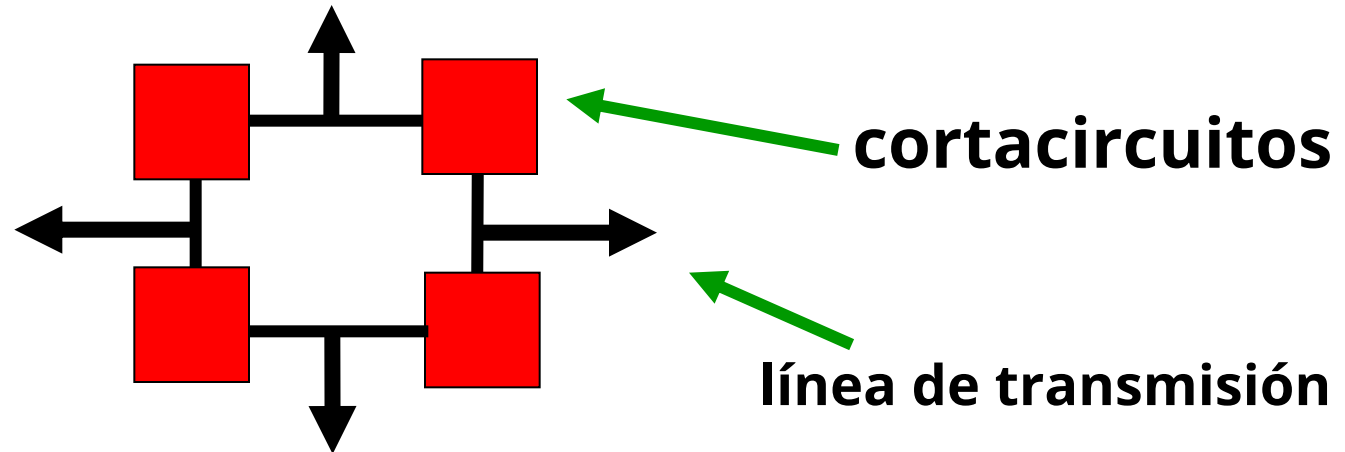
Un apagón del autobús abre todas las líneas en esta estación

## Autobús principal y de transferencia



El interruptor e interruptor de transferencia permite que cualquiera de las líneas permanezca energizada mientras su interruptor normal está apagado por mantenimiento...

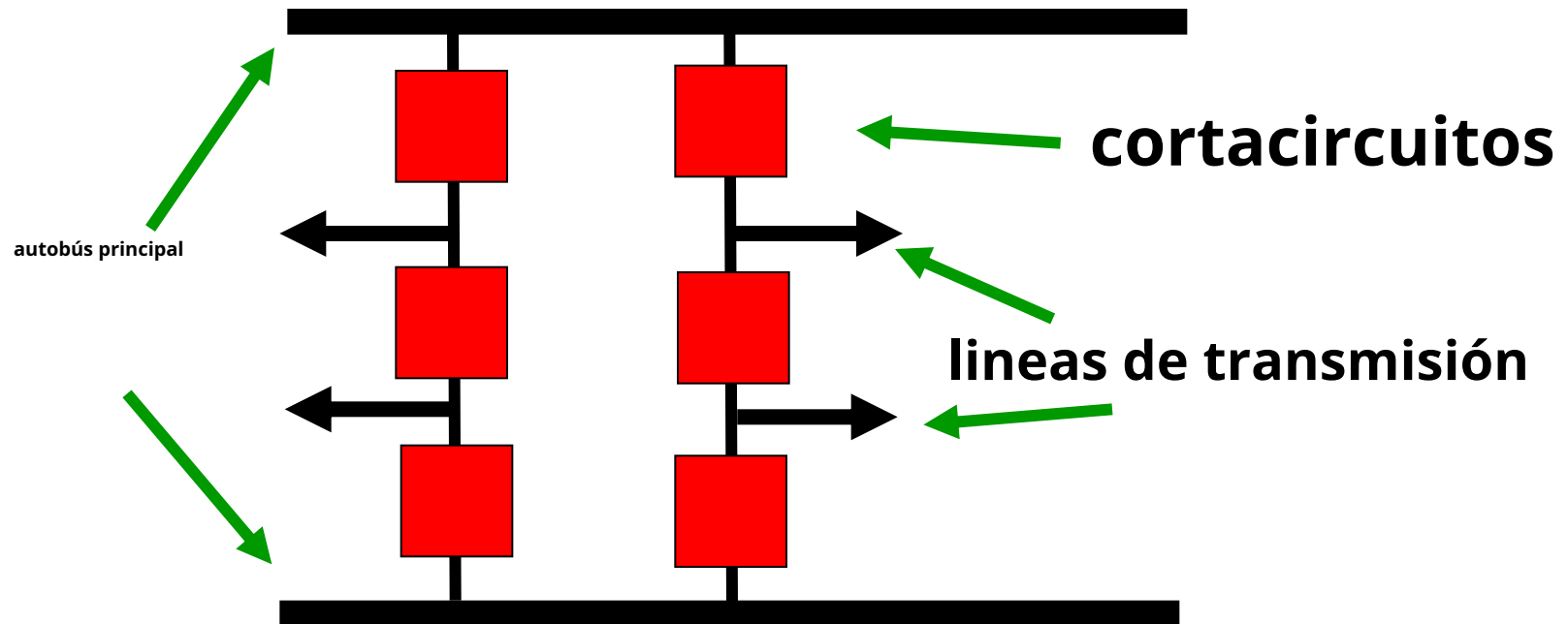
## Autobús de anillo



Un disyuntor por elemento

Un corte de cualquier interruptor no corta ninguna línea.

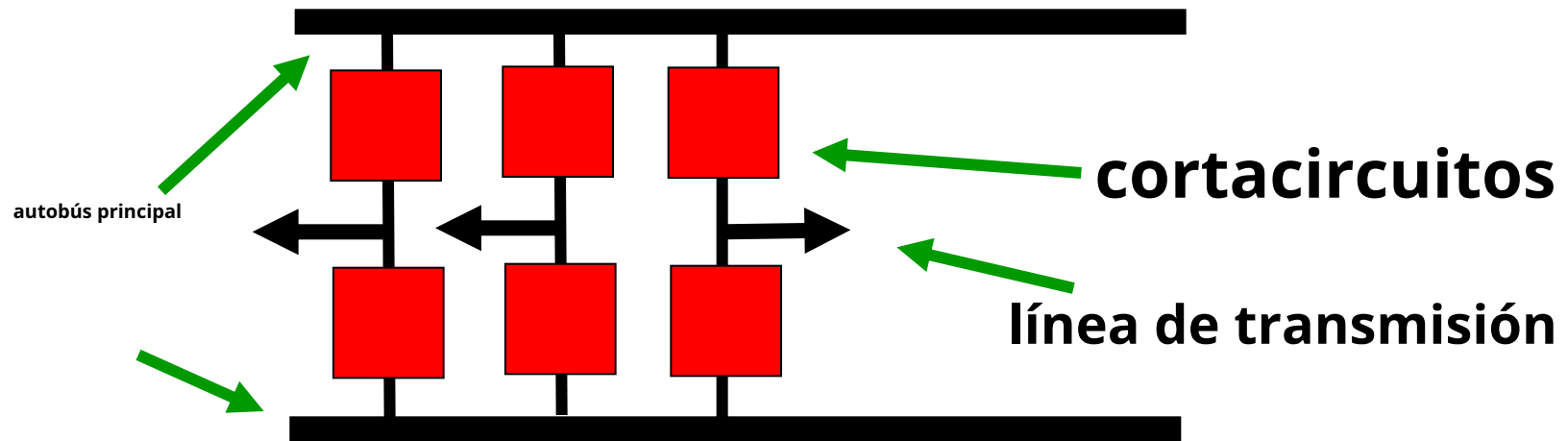
# Rompedor y medio



Cada línea está protegida por interruptores automáticos de "1-1/2".

Un apagón de cualquier autobús o cualquier interruptor no corta ninguna línea.

# Autobús doble – Interruptor doble



Cada línea está protegida por dos disyuntores.

Un corte de cualquiera de los autobuses o cualquier interruptor no corta ninguna línea.



# Resumen