

## Definición de SE

Una subestación es un conjunto de equipos, instalaciones y dispositivos eléctricos, cuya operación en conjunto permite la modificación de los parámetros de un sistema eléctrico. Sus funciones principales son: transformar, distribuir, controlar y medir la energía eléctrica de un sistema.

Una SE constituye un nodo en el que convergen y se derivan circuitos de diferentes tipos, como pueden ser; fuentes de generación, líneas de transmisión, fuentes de compensación, circuitos de distribución, etc, los cuales permiten que la SE reciba y transmita energía hacia distintos puntos del SEP.

## Tipos de subestaciones

### De acuerdo a su nivel de tensión:

**\*SE de distribución:** Una SE de distribución es aquella que reduce un voltaje de transmisión o subtransmisión a un voltaje de media tensión para alimentar los circuitos de distribución que se ubican en las áreas que se encuentran las cargas residenciales, comerciales e industriales. Ejemplos típicos:Primario 115 [kV], Secundario 13.8 [kV], 23 [kV], 34.5 [kV] . Estas SE pueden ser alimentadas de forma radial mediante una derivación o pueden tener 2 fuentes de alimentación distintas. Tiene uno o dos transformadores trifásicos con capacidad menor de 60 MVA, en el lado de baja tensión tienen máximo 8 alimentadores. Se suelen emplear arreglos de barras sencillos, barra simple partida, anillo, en H.

**\*SE de transmisión:** Una SE de transmisión es aquella donde su tensión primaria es un voltaje de transmisión y su tensión secundaria es un voltaje de subtransmisión. Ejemplo: Tensión primaria: 400 o 230 [kV], Tensión secundaria: 115 [kV]. Son alimentadas mediante varias LTs de distintas fuentes. Utilizan uno o dos bancos de transformación, compuestos por unidades monofásicas con capacidad individual mayor que 30 MVA- Para estas SE se emplean arreglos de barras que brindan mayor flexibilidad y seguridad, como por ejemplo: Arreglo de barra principal y barra auxiliar, arreglo de interruptor y medio, arreglo sobre barra doble interruptor. Se les llama SE de potencia.

### De acuerdo a su función:

**SE reductoras:** Una SE reductora tiene como función transferir, por medio de equipos de transformación, la potencia que recibe en alta tensión a un nivel de menor tensión para su distribución a otros puntos de la red.

**SE elevadoras:** Este tipo de SE están asociadas a las fuentes de generación y su principal función es transferir, por medio de equipos de transformación, la misma potencia producida por las unidades generadoras de un nivel de media tensión a un ivel de alta tensión o extra alta tensión, para su transmisión a otros puntos de la red. La transmisión en alta tensión permite el manejo de mayores volúmenes de energía, con menos pérdidas. **SE de maniobra:**Este tipo de SE no cuenta con equipo de transmisión , por lo que operan con solo un nivel de tensión. Su función principal son la dividir la LT en 2 segmentos de forma que no resulten eléctricamente demasiado grandes, así como distribuir el flujo de energía hacia otros nodos de la red y realizar maniobras que requieran para modificar la topología de la red según los requerimientos y condiciones de operación del sistema. Dividir la LT se requiere para no tener un circuito demasiado largo y que los reactores para compenar no sean muy grandes, además de que las sobretensiones no son muy grandes en éstas, de igual forma, los transitorios que se generen no sean tan grandes.

### De acuerdo a su aislamiento:

**\*SE aislada en gas SF6:** En este tipo de SE, las barras, conductores, equipo primario y demás componentes que conforman la SE, están confinados dentro de compartimientos que conformados por envoltentes metálicas aterrizadas, siendo el gas SF6 a presión, el medio que proporciona el aislamiento requerido entre los elementos energizados y la envoltente. Dado que el gas aislante está siempre dentro de la envoltente, las condiciones atmosféricas no afectan a la SE. Las dimensiones reducidas y alto grado e compactación de estas SE permiten utilizarlas en zonas urbanas o area con espacios reducidos, o casos donde el costo del predio sea muy elevado. Espacio menor al 10% contra una SE aislada en aire.

**SE aislada en aire:** En este tipo de SE el aislamiento entre barras, conductores energizados y partes vivas de los equipos, así como entre estructuras de la SE y tierra, está dado por el aire a presión atmosférica, por lo que la sepación relativa entre estos elementos brinda el nivel de aislamiento entre fases y tierra requerido por la SE. Esto hace que el aislamiento de la SE se vea afectado por condiciones atmosféricas en el sitio de instalación : Temperatura, presión y altitud.

### De acuerdo a su forma de instalación.

**Subestaciones tipo intemperie.** Son subestaciones instaladas en áreas exteriores, diseñadas específicamente para operar al aire libre bajo las condiciones ambientales del sitio de instalación. Estas características son: precipitación pluvial, contaminación, humedad, viento, nieve, entre otros.

**Subestación tipo interior.** Son subestaciones instaladas en áreas interiores, como edificaciones. Este tipo de instalación brinda mayor protección contra condiciones atmosféricas, además de brindar la ventaja de ocupar menor espacio. Las subestaciones de tableros metálicos blindados (Metal-Ciad) las subestaciones aisladas en gas SF6, son las principales subestaciones de este tipo.

## Funciones de una SE

\*Controlar el voltaje y flujo de energía

\*Transformar de un nivel de tensión a otro

\*Librar fallas en el SEP

\*Hacer maniobras para cambiar la configuración de la red

\*Realizar mediciones y monitoreos de los parámetros eléctricos

\*Realizar las maniobras de desconexión o libramiento de equipos o componentes, a fin de ejecutar trabajos de reparación o mantenimiento.

## Área electricas de una SE

Superficie, donde se instalan los equipos primarios, estructuras, conductores y aisladores para la correcta operación de una SE.

## Cuadeta de control

Lugar donde se alojan los tableros y demás equipo de medición y protección.Tiene como funcionamiento realizar la polarización de equipos, brindar el control de la SE, brindar los servicios auxiliares de la SE y captar las mediciones de los parámetros de eléctricos.

## Equipos primarios de una subestación

-Interruptores de potencia

-Transformadores de corriente

-Transformadores de potencial

-Cuchillas desconectadoras

-Apararrayos

-Trampa de onda

-Transformador de potencia

## Arreglo de barras de una subestación

El arreglo de barras de una SE es la configuración ordenada de los elementos que la conforman, incide en la funcionalidad, el costo y las dimensiones de la misma, y su selección dependerá del nivel de confiabilidad y flexibilidad requeridos, así como del límite presupuestal que se asigne a una SE determinada.

## ¿De qué depende la selección del arreglo de barras de una subestación?

Depende de la naturaleza de la SE (si es maniobra y/o transmisión), del presupuesto, de la tecnología que se empleará (SF6 o aire), de la importancia de la SE y del número de elementos de la SE.

## Diferencias entre un transformador y un autotransformador

-El número de devanados. El transformador tiene dos devanados independientes, mientras que el autotransformador

tiene un devanado.

-El tamaño entre estos, el transformador es más grande.

-El costo es mayor en el transformador.

## Condición para construir un equipo de transformación con autotransformador

Cuando la relación de transformación es igual o menor a 2.

## Uso de las cuchillas en una subestación

Se usan para dar aislamiento físico a una parte de la subestación o equipos que requieran ser desenergizados para su mantenimiento. Las cuchillas constituyen, junto con los interruptores, los principales equipos de maniobra en una subestación. La cuchilla desconectadora es un equipo que debe ser utilizado sin carga, es decir, no debe existir un flujo de corriente durante de su apertura. Su forma de conexión es en serie.

## Cuchillas de puesta a tierra

Elemento primario de una SE, cuya función es aterrizar elementos que almacenan carga eléctrica como LTs largas y capacitores.

## POISE (Definición y uso)

Ahora PRODESEN. Programa de Obras e Inversiones del sector eléctrico. Es un documento que contiene la plaación del Sen , el cual abarca los proyectos para la instalacion de centrales de generacion y los programas de ampliacion y modernizacion de las redes de transmisión y distribución. Se utiliza para tener un panorama a largo plazo del SEN y así poder tomar decisiones en materia energética.

## PRODESEN (Definición y uso)

Antes POISE. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. Es un documento que contiene la plaación del Sen , el cual abarca los proyectos para la instalacion de centrales de generacion y los programas de ampliacion y modernizacion de las redes de transmisión y distribución. Se utiliza para tener un panorama a largo plazo del Sen y así poder tomar decisiones en materia energética.

## Tipos de centrales de generación

Hidroeléctricas, Nuclear, Termoeléctricas, Eólica, Geotérmica, Fotovoltaica, Carboeléctrica

## Voltajes de generación

6,13.8,15 hasta 34.5 [kV]

## CM y KCM

Un circular mil (CM) es una unidad de área, igual al área de un círculo con un diámetro de milésima de pulga. Corresponde a 5.067x10^-4 [mm^2]. Es una unidad destinada a medir el área de un alambre de sección transversal circular. Como el área en Cms se puede calcular sin referencia a π, la unidad hace la conversión entre la sección transversal y el diámetro de un alambre considerablemente más fácil. El área en circular mils "A" está dada por la fórmula:

A=d^2

Un kilo circular mil (KCM) es igual a 1000 circular mils (CM). Es decir: 506.7x10^-3 [mm^2]. Se utilizan como unidad de medida del área de la sección transversal de los cables empleados para líneas de transmisión y distribución.

## Clasificación de los niveles de tensión

[kV]	Clasificación	Tipo
0.127	Baja tensión	Distribución
0.22	[100 a 1000 V]	
0.44		
13.8	Media tensión	
23	(1 a 34.5 kV)	Subtransmisión
34.5		
69		
85(RIP)		
115	Alta tensión	Transmisión
138	[34.5 a 230 kV]	
161		
230		
400	Extra	
500	Alta tensión	
765	(Mayor a 230kV)	

## Calibres de cables para sistemas de transmisión y capacidad máxima de corriente

477 KCM ACSR -> 670[A]

795 KCM ACSR -> 900[A]

900 KCM ACSR -> 970[A]

1113 KCM ACSR (el más utilizado) -> 1160[A]

## Impedancia característica

Es la relación que existe entre la diferencia de potencial aplicada y la corriente absorbida por la línea suponiendo que es de longitud infinita, de tal manera que exista un perfil plano de voltaje. No depende de la longitud de la línea pero sí de su configuración. Zc=√(Vif^2/Po)

## Potencia natural de la línea

Es la máxima potencia que se puede transmitir sin necesidad de compensar el nivel de tensión ya que existe un perfil plano de voltaje. La potencia que se envía, es la que se recibe.

**¿Qué pasa cuando una línea de transmisión transmite mucha más energía que su capacidad natural y qué curva debe instalarse para compensar este efecto?**

Existe una caída en el nivel de tensión de acuerdo a la curva de transferencia de potencia. Se utilizan capacitores en serie para compensar este efecto.

## Criterio de n-1

Se refiere que ante la falla de un elemento del sistema, este puede seguir operando de manera normal, es decir, si un elemento llega a fallar, lo demás tienen la capacidad de compensar esa pérdida, sin afectar el funcionamiento del sistema. Las LTs transmiten a la mitad de su potencia, ya que si un circuito queda fuera, el otro puede transmitir toda la potencia sin afectar el sistema.

## Tensión nominal del sistema

Es el valor de tensión en el cual se espera en que la instalación eléctrica esté operando la mayor parte del tiempo

## Tensión máxima

Es el valor de tensión que a pesar de ser mayor a Vnom, es el valor en cual aún se debe operar en condiciones normales, es decir, sin calentamiento, sin fallas y sin pérdidas, de forma continua o en un tiempo prolongado de tiempo.

## Tensiones nominales y máximas de un sistema

Tensión nominal [kV]	Tensión máxima [kV]	
13.8	15.5	12.00%
23	25	8.00%
34.5	38	10.00%
69	72.5	5.00%
85	90	5.00%
115	123	6.00%
138	145	5.00%
161	170	5.00%
230	245	6.00%
400	420	5.00%

## Tipos de sobretensión

### Sobretensión por descarga atmosférica

Es un tipo de sobretensión transitoria. Es un aumento de la tensión muy elevados del orden de 4 a 5 [pu] y de muy corta duración, unos pocos microsegundos. Es causada por el impacto de un rayo en algún conductor del SEP. Tiene un tiempo de subida de 1.2 [us].

### Sobretensión por maniobra

Es un tipo de sobretensión transitoria. Es un aumento de la tensión de orden de 3 a 4 [pu]. Se trata por lo general de ondas de sobretensión de oscilación amortiguadas o de alta frecuencia. Se dice que presentan un frente lento; su frecuencia vari decenas a varios cientos de kHz. Son producidas por la apertura y cierres de dispositivos de protección (interruptores) y a la apertura o cierre de los dispositivos de control (relés, contactores, etc). Tienen un tiempo de subida de aproximadamente 20[us].

### Sobretensión de baja frecuencia

Son aumentos de centenas de volts (2[pu]) durante un periodo de tiempo indeterminado debido a la descomposición de fases normalmente causada por la ruptura del neutro. Estas sobretensiones presentan las mismas frecuencias que la red (50, 60 o 400 Hz).

## Sistema en anillo

Brindan mayor confiabilidad, pero mayor nivel de CC.

## Sistema radial

Brindan menor confiabilidad, pero menor nivel de CC.

## Tensiones nominales de aguate

		[kV]		
		Tensión nominal de aguate de:		
T sis (rms, f-f)	T máx (rms,f-f)	Baja frec (rms,f-f)	Impulso por rayo (pico, f-f)	Impulso de maniobra (pico, f-f)
230	245	460	1050	-
400	420	800	1425	1050

## Corriente nominal y corriente nominal de cortocircuito de interruptores

I nom [A]	Icc [kA]
630	-
800	-
1250	12.5
1600	16
2000	20
2500	25
3150	31.5
4000	40
5000	50
6300	63
8000	80

## CEV

Un CEV se conforma principalmente por un conjunto de reactores y capacitores, así como por un grupo de válvulas de tiristores, operando generalmente en media tensión, que en conjunto con un transformador de acoplamiento, permiten un control continuo de la potencia reactiva en el sitio donde el equipo es instalado. Una de las principales característica de los CEV, es que el control de la potencia reactiva se realiza a gran velocidad mediante dispositivos de estado sólido que emplean electrónica de potencia para la conexión y desconexión de capacitores y reactores en el sistema. A este tipo de compensación utilizada en los compensadores estáticos de potencia reactiva, se le llama potencia activa.

## Transformador de potencial capacitivo(Definición, uso y parámetros)

Son aparatos en los cuales su función principal es medir y transformar el voltaje que circula en la línea de transmisión, o en las barras de la subestación, convirtiendo dichas mediciones en cantidades menores para alimentar equipos de protección y medición. Se pueden emplear en conjunto con trampas de onda (TO's) para conformar un filtro, el cual permite captar señales de comunicación viajeras en las líneas de transmisión de alta tensión. Su instalación se realiza con una conexión de fase a tierra.

## Parámetros:

Relación de transformación, clase de exactitud, capacitancia, tensión nominal, tensión máxima, tensión de prueba a baja frecuencia, tensión de prueba de impulso por rayo, tensión de prueba de impulso de maniobra, tensión en el devanado secundario (115 V), capacidad.

## Transformador de potencial inductivo(Definición, uso y parámetros)

Son aparatos en los cuales su función principal es medir y transformar el voltaje que circula en la línea de transmisión, o en las barras de la subestación, convirtiendo dichas mediciones en cantidades menores para alimentar equipos de protección y medición. Funcionan de la misma forma que los TPC's, a diferencia de que pueden presentar problemas asociados con resonancias inductivas. Su instalación se realiza con una conexión de fase a tierra.

## Parámetros:

Relación de transformación, clase de exactitud, tensión nominal, tensión máxima, tensión de prueba a baja frecuencia, tensión de prueba de impulso por rayo, tensión de prueba de impulso de maniobra, tensión en el devanado secundario (115 V), capacidad.

## Transformador de corriente (Definición, uso y parámetros)

Son aparatos en los cuales su función principal es medir y transformar la corriente que circula en las líneas de transmisión, convirtiendo dichas mediciones en cantidades menores para alimentar equipos de protección y medición instalados en la caseta de control. El primario de los TC's se conecta en serie con el circuito a medir, mientras el secundario se conecta con los aparatos de protección y medición que requieran ser energizados.

## Parámetros:

Corriente nominal de los devanados (para el secundario es 5 [A]), clase de exactitud, capacidad, corriente nominal de cortocircuito, burden del TC.

## Apararrayos (Definición, uso y parámetros)

Son elementos empleados en subestaciones eléctricas para proteger equipos e instalaciones contra sobretensiones. Su función principal es limitar sobretensiones por descargas atmosféricas y operación de equipos de maniobra. Su instalación se realiza con una conexión de fase a tierra, debiendo comportarse como un aislador en condiciones normales de operación y comportándose como una impedancia muy pequeña en caso de una sobretensión.

## Parámetros:

Tensión nominal del apartarrayo, corriente nominal de corto circuito, corriente de descarga nominal, tensión residual máxima al impulso de corriente de frente escarpado, tensión residual máxima de corriente por rayo, tensión residual máxima al impulso de corriente por maniobra.

## Trampa de onda (Definición, uso y parámetros)

Las trampas de onda son parte del equipo primario de las subestaciones de potencia. Es básicamente una inductancia sintonizada mediante un circuito resonante que nos sirve para el

bloqueo de ciertas frecuencias para dirigir las señales útiles en sentidos que nos interesen. Las trampas de onda son dispositivos que se conectan en serie en las líneas de alta tensión.

## Parámetros:

Corriente nominal, corriente nominal de corto circuito, ancho de banda, tensión nominal, tensión máxima, frecuencia central, impedancia de bloqueo, impedancia nominal.

## Cuchilla (Definición, uso y parámetros)

Las cuchillas desconectadoras son elementos electromecánicos. Se usan para dar aislamiento físico a una parte de la subestación o equipos que requieran ser desenergizados para su mantenimiento. Las cuchillas constituyen, junto con los interruptores, los principales equipos de maniobra en una subestación. La cuchilla desconectadora es un equipo que debe ser utilizado sin carga, es decir, no debe existir un flujo de corriente durante de su apertura. Su forma de conexión es en serie.Existen diferentes tipos de cuchillas desconectadoras. Sus principales diferencias dependen de la forma en que realizan la operación de apertura y cierre de sus contactos. Los tipos de cuchillas desconectadoras utilizados con mayor frecuencia son: Doble Apertura Lateral ,Pantógrafo, Apertura Vertical, Apertura Horizontal Central, Apertura Horizontal en "V" . Semipantógrafo, Rodilla.

## Parámetros:

Tipo de cuchilla, tensión nominal, tensión de prueba a baja frecuencia, tensión de prueba de impulso por rayo, tensión de prueba de impulso de maniobra, corriente nominal, corriente nominal de aguate de corta duración, corriente nominal de corto circuito, rango de temperatura, tipo de mecanismo de operación (manual o a motor), tensión de alimentación de control, tensión de alimentación de fuerza.

## Interruptor de potencia (Definición, uso y parámetros)

Los interruptores de potencia son dispositivos cuyo propósito es efectuar la conexión y desconexión de circuitos con o sin carga de una subestación. Dichos aparatos deben ser capaces de interrumpir el flujo de corriente en caso de que se presenten condiciones anormales o fallas que puedan afectar la instalación. Su forma de conexión es en serie.

## Parámetros:

Tensión nominal, tensión de prueba a baja frecuencia, tensión de prueba de impulso por rayo, tensión de prueba de impulso de maniobra, corriente nominal, corriente nominal de corto circuito, mecanismo de operación, rango de temperatura, tiempo de ruptura, medio aislante (SF6, vacío, ...)

## Especificaciones CFE

Para APs: CFE VA410-17, CFE 52100-93

Para TCs: CFE VE100-13

Para TPls: CFE VE100-29

Para TPCs: CFE VE000-38

Para TOs: CFE U4101-02

## Transformador de potencia (Definición, uso y parámetros)

Constituyen el equipo más importante de una SE. Su función principal es elevar o disminuir el nivel de tensión de la energía que requiere ser transportada a través del SEP. Otro de sus propósitos, es regular el voltaje en el lado de alta y baja tensión, manteniendo los niveles de tensión dentro de los límites de operación mediante el uso de los cambiadores de derivación. Pueden ser trifásicos o monofásicos, de 2 devanados independientes o 1.

## Parámetros:

Tensión nominal del lado de alta tensión, tensión nominal del lado de baja tensión, tensión máxima del lado de alta tensión, tensión máxima del lado de baja tensión, tensión de prueba a baja frecuencia (para lado de alta y baja tensión), tensión de prueba de impulso por rayo (para lado de alta y baja tensión), tensión de prueba de impulso de maniobra (para lado de alta y baja tensión), forma de conexión, tipo de enfriamiento, capacidad, tipo de aisladores, medio de refrigeración, impedancia en PUs.

## Reactores de potencia (Definición, uso)

Se emplean principalmente para absorber potencia reactiva y con ello disminuir el efecto Ferranti, que produce niveles elevados de tensión, y que generalmente se presenta cuando una línea de transmisión de longitud considerable opera con baja carga o en vacío. Los reactores presentan diversas funciones. Cuando se conectan en serie limitan la corriente de corto circuito para poder disminuir la capacidad interruptiva de interruptores y en paralelo o derivación para absorber potencia reactiva.

En subestaciones, los reactores se colocan en el neutro de los bancos de transformadores para limitar la corriente de falla de fase a tierra.

## Bancos de capacitores (Definición, uso)

Los bancos de capacitores se emplean en sistemas de transmisión para compensar potencia reactiva y controlar voltaje. La componente fundamental de un banco de capacitores son las denominadas unidades capacitivas, que son los elementos individuales que normalmente son conectados en paralelo para sumar sus capacidades y así dar la potencia reactiva total del banco. Los bancos de capacitores se conectan en derivación, aunque existe otro tipo que se conecta en serie, y son denominados capacitores serie. Los capacitores serie se conectan en serie con la línea de transmisión de alta tensión, con el propósito de incrementar la capacidad de transmisión de la línea de transmisión donde son instalados.

**Objetivo de un SEP:**Suministrar la energía necesaria para satisfacer de manera eficaz, confiable y segura la demanda de energía eléctrica para el desarrollo de un sector o país.

## Voltaje de DC para la alimentación de los equipos de la SE

125 [V], 48 [V], 12 [V]

## Alimentación de servicios propios de la SE

Puede ser mediante: Un circuito de distribución externo, una planta de generación externa o mediante el devanado terciario de un transformador.

## Red de tierras

Un elemento conectado a tierra, que tiene como función, ser un elemento de conexión a tierra de los elementos con parte metálicas de la SE y de los neutros de los tranformadores para brindar seguridad.

## Principales parámetros que afectan el diseño de la red de tierras

La corriente de falla a circular por la malla, la resistividad del terreno, dimensiones del terreno, factor de crecimiento de la SE (carga), factor de división de la corriente.

## Principales tipos de interruptores que se usan en subestaciones, de acuerdo con la conexión de sus cámaras de interrupción y diferencia entre ellos.

\*Tanque vivo: Es aquel en el cual sus cámaras de extinción se encuentran al potencial pleno de línea. Sus cámaras se encuentran soportadas por aisladores soporte, brindando el aislamiento necesario para separar la parte energizada del potencial de tierra.Tiene un centro de gravedad alto.

\*Tanque muerto: En este tipo de interruptores sus cámaras de extinción están contenidas en una envoltente metálica que se encuentra aterrizada. La conexión entre las cámaras de extinción y las terminales de alta tensión se realiza mediante boquillas.Tiene un centro de gravedad bajo, ideal para zonas con alta actividad sísmica. Sin embargo cuestan más.

Proximadamente el doble de un tanque vivo.

**Resistencia de primario(Definición y uso)**
Son dispositivos conectados en los interruptores de potencia, que es usan para limitar las sobretensiones que se presentan durante las maniobras de energización de LTs largas.