

Conceptos básicos de una subestación eléctrica

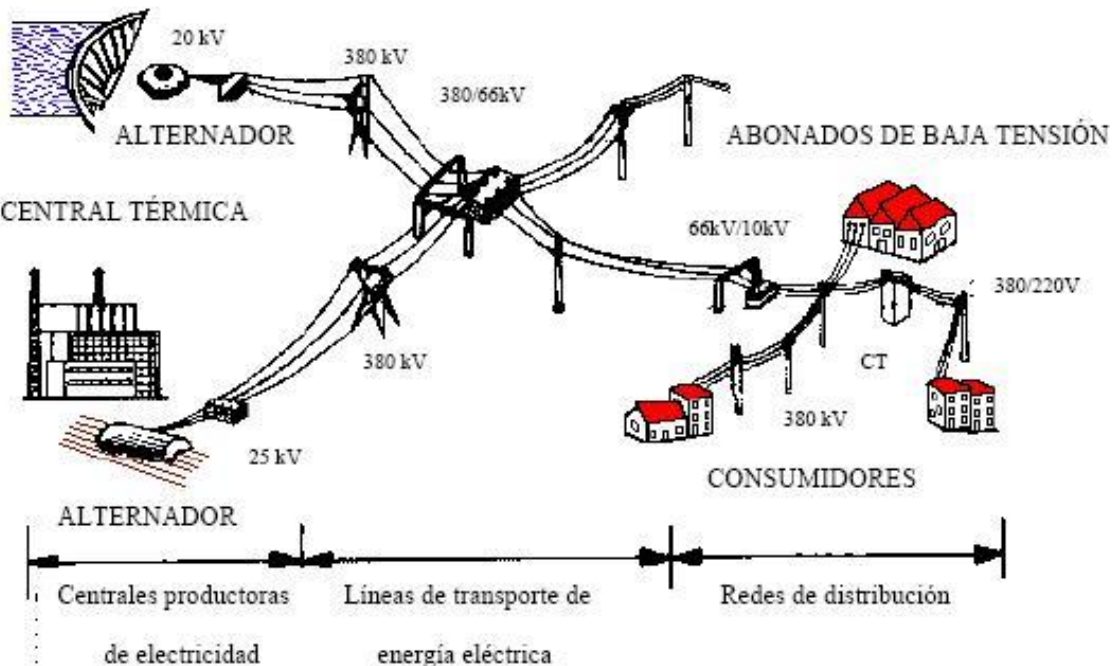
Sistema Eléctrico de potencia (SEP)

Por razones económicas y técnicas, las tensiones a las que se genera la energía eléctrica es relativamente baja, de 5 a 38kV, considerando que los centros de generación y centros de consumo se encuentran separados por distancias considerables, es necesario elevar los niveles de voltaje para poder transmitir los grandes bloques de energía a los centros de consumo con los menores valores de pérdidas técnicas de energía. Para poder hacer esto posible, anexo a las centrales o estaciones de generación y a los centros de consumo, se instalan un grupo de equipos y dispositivos eléctricos capaces de realizar esta función, llamados en su conjunto Subestaciones Eléctricas.

Un Sistema eléctrico de potencia es un conjunto de equipos que interconectados, llevan la energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo. Sus principales componentes pueden identificarse como el sistema de generación, el sistema de transmisión y el sistema de distribución.

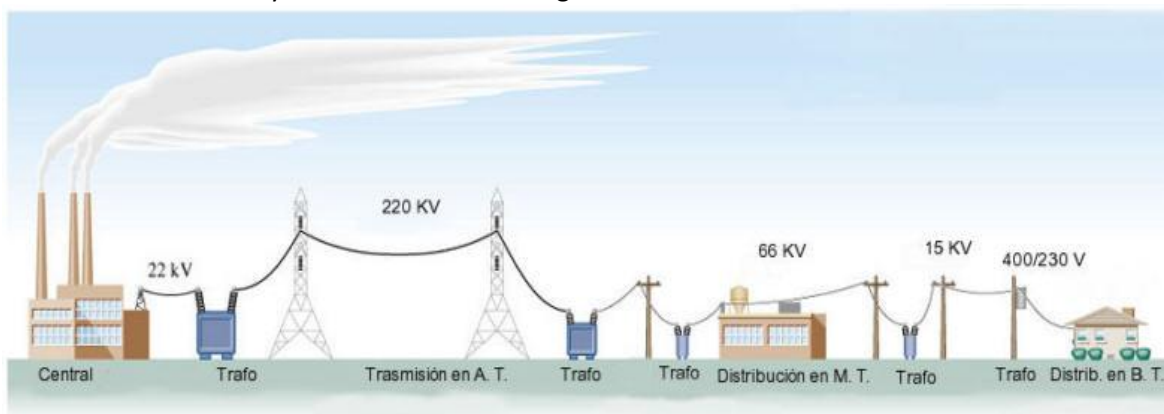
En las plantas generadoras se convierte la energía mecánica o solar a su forma eléctrica. Las líneas de transmisión hacen posible que los bloques de energía lleguen a diferentes puntos en donde se puede repartir en bloques más pequeños a través de líneas de subtransmisión o distribución, y al final de estas se encuentran otras subestaciones eléctricas de distribución, que entregan por medio de líneas o circuitos de distribución a bancos de transformación, que reducen a valores de voltaje de los equipos eléctricos de uso industrial o domestico de los centros de consumo.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA



Subestaciones

Las subestaciones son la componente de los sistemas eléctricos de potencia en donde se modifican los parámetros de tensión y corriente, sirven además de punto de interconexión para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica.



Clasificación de Subestaciones de Potencia

Las subestaciones se pueden clasificar de muchas maneras, las más comunes son de acuerdo al:

Tipo de función

- Elevadoras.** Son aquellas en donde se eleva la tensión suministrada por los generadores, reduciendo la corriente para que la potencia pueda ser transportada a grandes distancia con menores pérdidas. En ellas la fuente de energía se encuentra en el lado de baja tensión de los transformadores de potencia y la carga se encuentra en el lado de alta tensión. Se encuentran generalmente en centrales eléctricas.
- Reductoras.** En este tipo de subestaciones, se reduce el nivel de tensión para subtransmitir a otras subestaciones o alimentar redes de distribución. En ellas la fuente de energía alimenta el lado de alta tensión de los transformadores de potencia y la carga se encuentra en el lado de baja tensión.
- De maniobra (switcheo).** Aquí no se modifican los parámetros de tensión, únicamente son nodos de entrada y salidas de energía, sin elementos de transformación, son utilizadas como interconexión de líneas e inyección de compensación reactiva o capacitiva.
- Subestaciones mixtas.** Estas son las más comunes, ya que son una combinación de las anteriores, es decir que se puede tener una subestación que reduce el nivel de tensión y a su vez, su configuración le permite interconectar varias líneas.

Tipo de construcción

- Intemperie.** Son construidas para operar expuestas a las condiciones atmosféricas y a la contaminación. Ocupan grandes extensiones de terreno.
- Interior.** Son subestaciones que abarcan una menor superficie de construcción que las de tipo intemperie, son construidas dentro de una obra civil (edificio) con el fin de protegerlas de la contaminación y condiciones del ambiente (salinidad, vientos, descargas atmosféricas, etc.); no son aptas para estar a la intemperie. Por su elevado costo son utilizadas en zonas densamente pobladas donde no existe la posibilidad de adquirir extensiones grandes de terreno, también son usadas en lugares de alta contaminación o debido a las necesidades de cumplimiento de normas ambientales o impacto visual.
De este tipo de subestaciones destacan las blindadas y las encapsuladas en hexafloruro de azufre (SF₆).



Subestación Intemperie



Subestación tipo interior metálicos blindados (Metal-Clad)



Subestación Interior aislada en SF6

Eficiencia en el funcionamiento de una subestación eléctrica

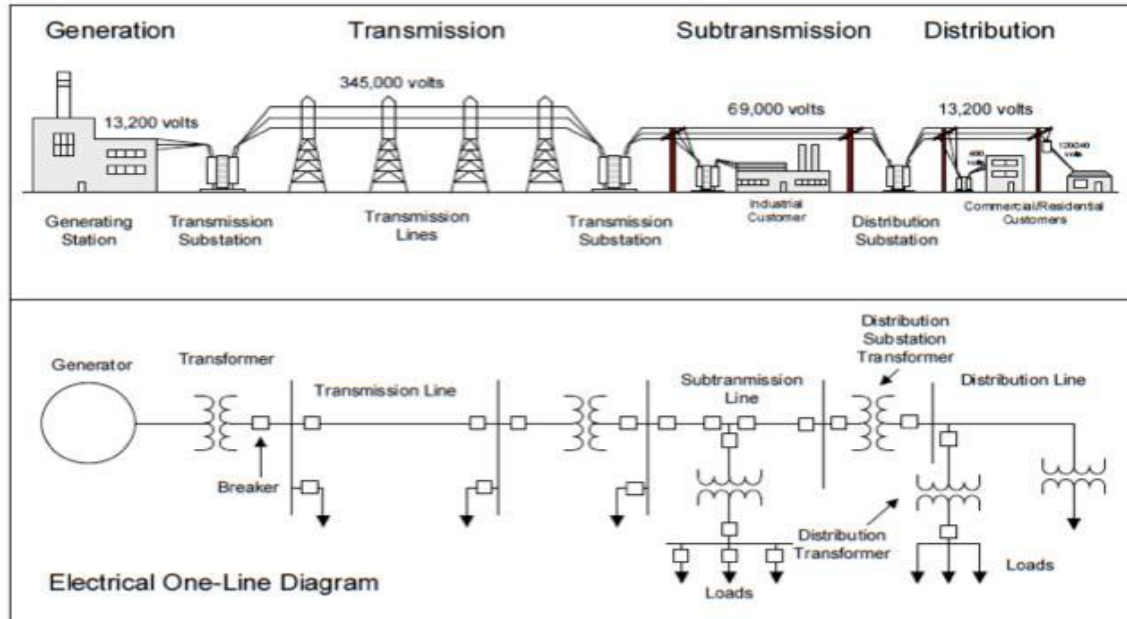
Las características que debe de cumplir una subestación eléctrica en término de su eficiencia del servicio que prestan, se pueden resumir en:

- a) Garantizar una suficiente continuidad en el suministro de energía.
- b) Mantener dentro de los límites tolerables algunos de parámetros eléctricos (relación de voltajes, flujo de potencia reactiva, etc.)
- c) Proporcionar un grado de protección selectiva en caso de falla, dejando aislado solo la parte afectada. Se tiene que considerar dentro de los diseños de la subestación eléctrica una solución conveniente entre la confiabilidad y la economía.
- d) Establecer una protección suficiente ante contactos accidentales de personas con partes con potencial eléctrico, ya sea en condición normal, por falla de aislamiento, etc.

Junto a estas características, se debe de valorar la duración de la vida útil de los equipos y la instalación así como el costo de mantenimiento de los equipos asociados.

Diagrama unifilar

Un diagrama unifilar, es una representación en forma simbólica y en un solo hilo de todo el equipo que forma parte de la instalación.



Ejemplo de un diagrama unifilar de un Sistema Electrico

Para el caso de las subestaciones, estos se pueden presentar en:

- Unifilares Simplificados* en donde se representan únicamente los equipos eléctricos primarios como los son barras, transformadores de potencia, interruptores de potencia, cuchillas, transformadores de instrumento, etc.
- Unifilares con Protección, control y Medición*, en donde se indican en forma simplificada, además de la disposición eléctrica de los equipos eléctricos primarios, también se incluyen los circuitos de protección, control y medición.
- Unifilares de Servicios Propios en C.A.*, representan la alimentación desde el transformador de servicios propios de la subestación o la acometida de servicios, a los centros de carga de C.A. y los circuitos alimentadores de corriente alterna para la caseta de control, áreas exteriores, alumbrado, motores, equipos y tomas de fuerza, cargadores de baterías.
- Unifilares de Servicios Propios en C.D.*, representa la alimentación desde los cargadores de baterías a los centros de carga de C.D bancos de baterías y los circuitos alimentadores de corriente directa que dan servicio a los equipos de protección, Control, Medición y Comunicaciones.

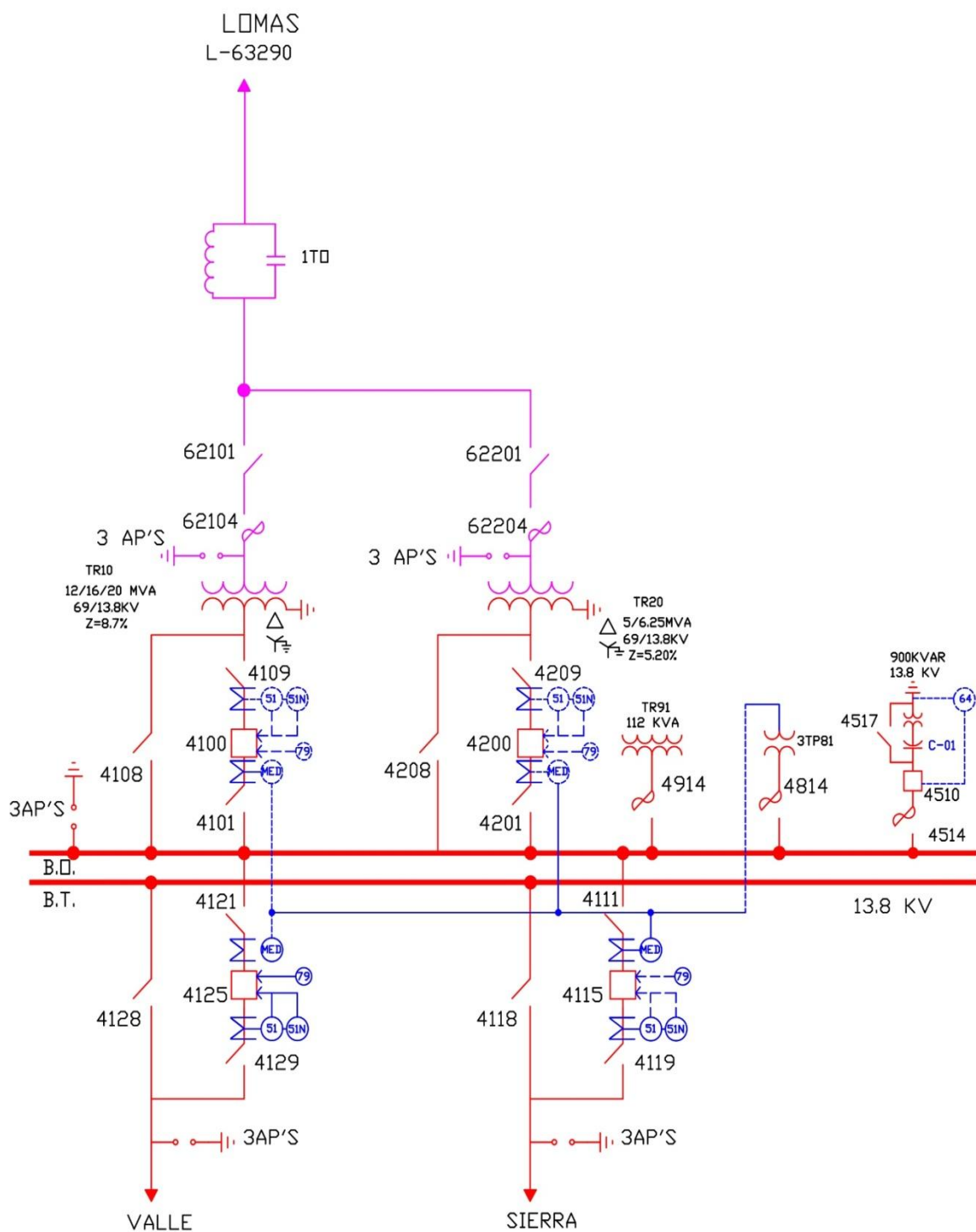
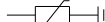
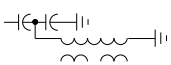
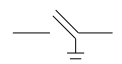
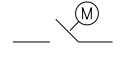
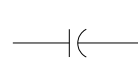


Diagrama unifilar con protección, control y medición de una subestación tipo reductora

Simbología

La simbología utilizada en los diagramas unifilares corresponde NMX-J-136-ANCE-2007 abreviaturas y símbolos para diagramas, planos y equipos eléctricos, a las normas americanas ANSI (American National Standards Institute) y normas internacionales IEC (International Electrotechnical Commission).

Algunos de los símbolos mas usados son:

	ENTRADA DE LINEA
	SALIDA DE ALIMENTADOR
	APARTARRAYOS AUTOVALVULAR – AP.
	APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC (ZnO) – AP.
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL TIPO CAPACITIVO (DISPOSITIVO DE POTENCIAL) – DP.
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL TIPO INDUCTIVO – TP.
	TRAMPA DE ONDA – TO.
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DEVANADO – TC.
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DONA (BOQUILLA) – TC.
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA (DOS DEVANADOS)
	CUCHILLA DESCONECTADORA DE OPERACION MANUAL
	CUCHILLA DESCONECTADORA DE OPERACION MANUAL CON CUCHILLA DE CONEXION A TIERRA
	CUCHILLA DESCONECTADORA OPERACION CON MOTOR
	INTERRUPTOR DE POTENCIA
	LINEA DE ALIMENTADOR (ACTUAL)
	LINEA DE BARRAS (ACTUAL)
	FUTURO O EXISTENTE (EN CASO DE AMPLIACION)
	BANCO DE CAPACITORES

El arreglo de barras

La elección del tipo de arreglo de barras de una subestación dependerá de las características de cada sistema eléctrico y de la función de cada subestación. Esto determinará en gran medida la cantidad de quipo necesario, el área de terreno y el costo.

Para seleccionar cualquier arreglo de barras y representarlo en un Diagrama Unifilar Simplificado se requiere entonces, llevar a cabo un estudio de planeación que considere como base los siguientes criterios:

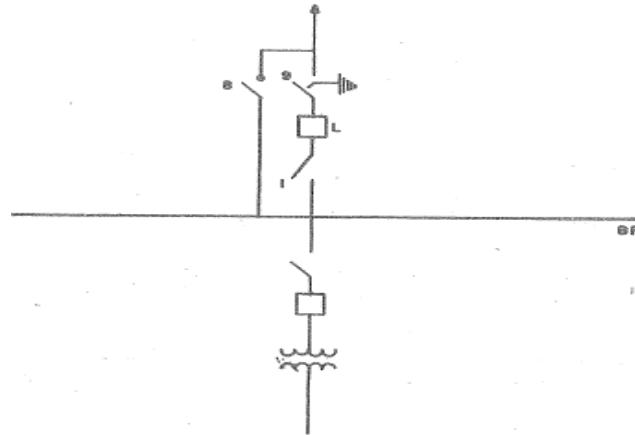
- a. *Confiabilidad.* Es el índice de confianza que debe tenerse en la subestación, se relaciona con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y la manufactura de los equipos que la integran, los cuales deben desarrollarse con alto grado de control de calidad.
- b. *Continuidad.-* Se refiere a la seguridad que puede tener el usuario de que el servicio de la subestación se proporcione con el menor número de interrupciones, y cuya duración, cuando ocurra, sea lo más corta posible.

Para asegurar la continuidad del servicio deben seleccionarse disposiciones que logren crear alternativas de solución a las posibles fallas de algún elemento (equipo o conexión) de la subestación. Las disposiciones empleadas deben:

- Tener capacidad de reserva en los bancos de transformación y en las barras, para hacer frente a la posible salida de servicio de cualquier alimentador de línea o banco.
 - Tener un sistema de protección automático que permita aislar con suficiente rapidez cualquier elemento fallado de la subestación.
 - Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto de la subestación.
- c. *Flexibilidad.-* Es el factor que indica hasta dónde puede una instalación cambiar sus condiciones normales de operación, ya sea por fallas, por mantenimiento, por modificación o por ampliación, sin afectar, o afectando lo menos posible, la continuidad del servicio.
 - d. *Tipo de subestación.-* Atendiendo al objetivo con el cual se diseñan las subestaciones y al servicio que prestan.
 - e. *Volumen de energía en las barras.-* Este término significa la capacidad en MVA que se acumula en las barras de una subestación y se determina sumando las capacidades de transformadores de potencia y alimentadores de línea que estén conectados a las barras. Dependiendo de este valor, se requerirá seleccionar aquellos arreglos de barras que proporcionen mayor flexibilidad, confiabilidad y continuidad a la subestación.
 - f. *Análisis de costos.-* La selección de arreglos de alta confiabilidad, continuidad y flexibilidad suponen un mayor costo e inversión inicial. El análisis de costos debe contemplar el costo del terreno, costo del proyecto, costo de equipos, costo de la obra, costo de operación, costo de mantenimiento, urgencia de la instalación, vida útil de los equipos (factores de depreciación).

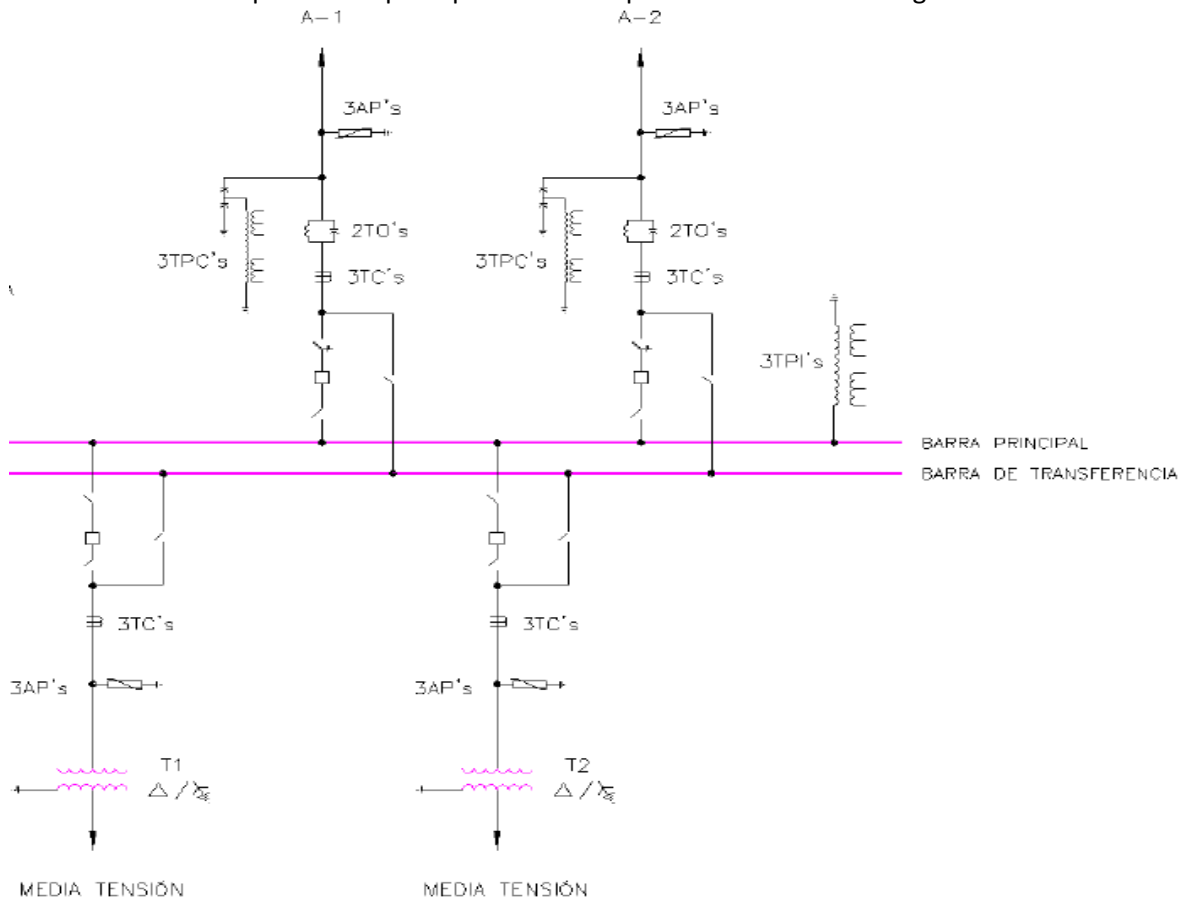
Los arreglos más comunes de barras son:

- a. *Barra sencilla.* Se tiene una sola barra para cada tensión, por lo que ofrecen un grado bajo de flexibilidad de operación, ya que una falla en barras produce la salida total, por lo que se procura que tengan la capacidad de poder ser seccionadas a través de cuchillas. El mantenimiento en ellas se dificulta por no poder transferir el equipo, pero normalmente cuenta con una cuchilla de *bypass* que “puentea” el interruptor y sus cuchillas de la barra a la salida de la cuchilla lado equipo; su utilización es principalmente en subestaciones de uso rural.



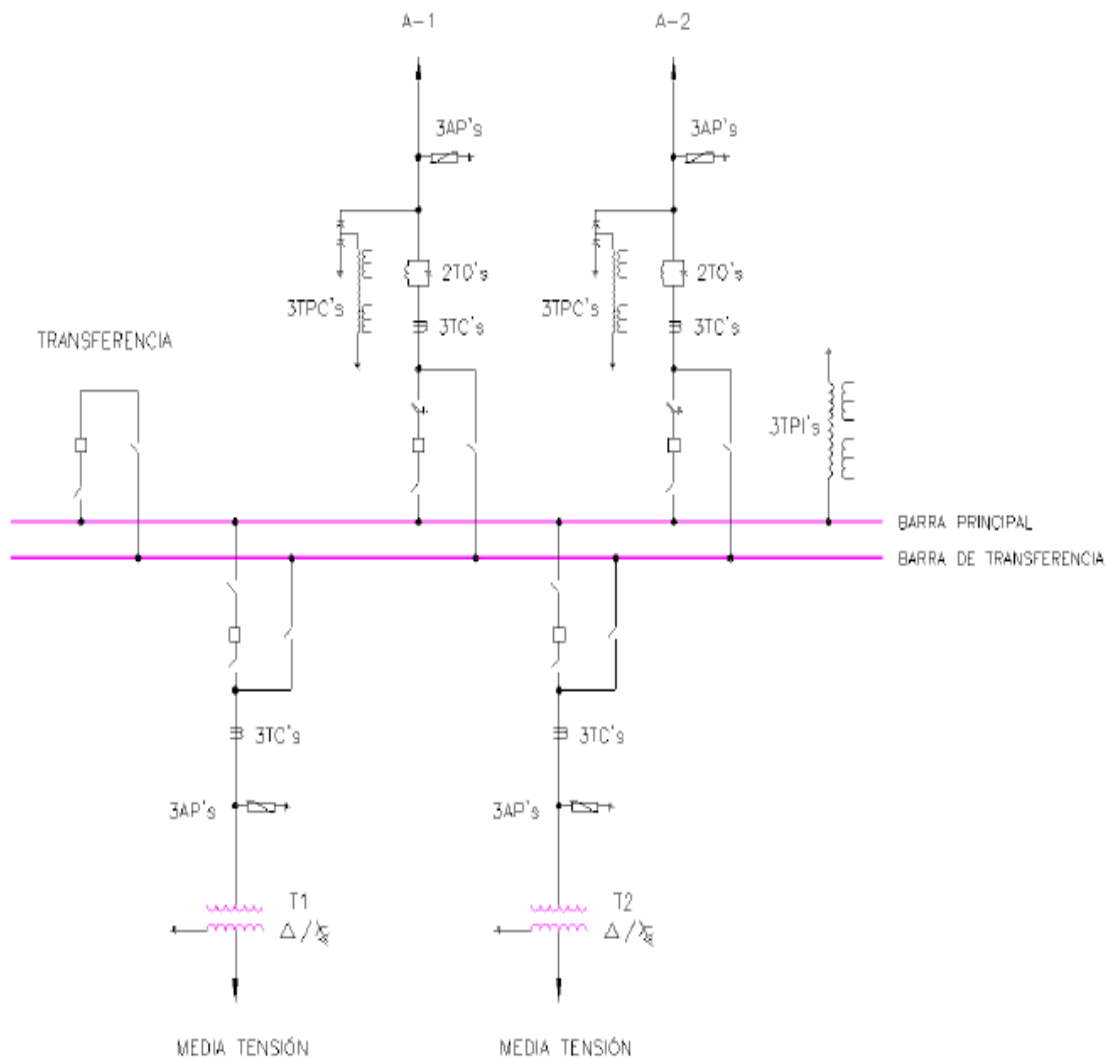
Barra sencilla

- b. *Barra principal y barra de transferencia.* Este arreglo está conformado por una sola barra de operación a la cual están conectados todos los alimentadores y una barra de transferencia a la cual está conectado cada alimentador a través de una cuchilla de transferencia. Este arreglo proporciona un mayor nivel de flexibilidad que el anterior porque un interruptor puede tomar la carga de cualquier otro a través de las cuchillas de transferencia de ambos y el bus de transferencia. Aquí la barra principal es la única permanentemente energizada.



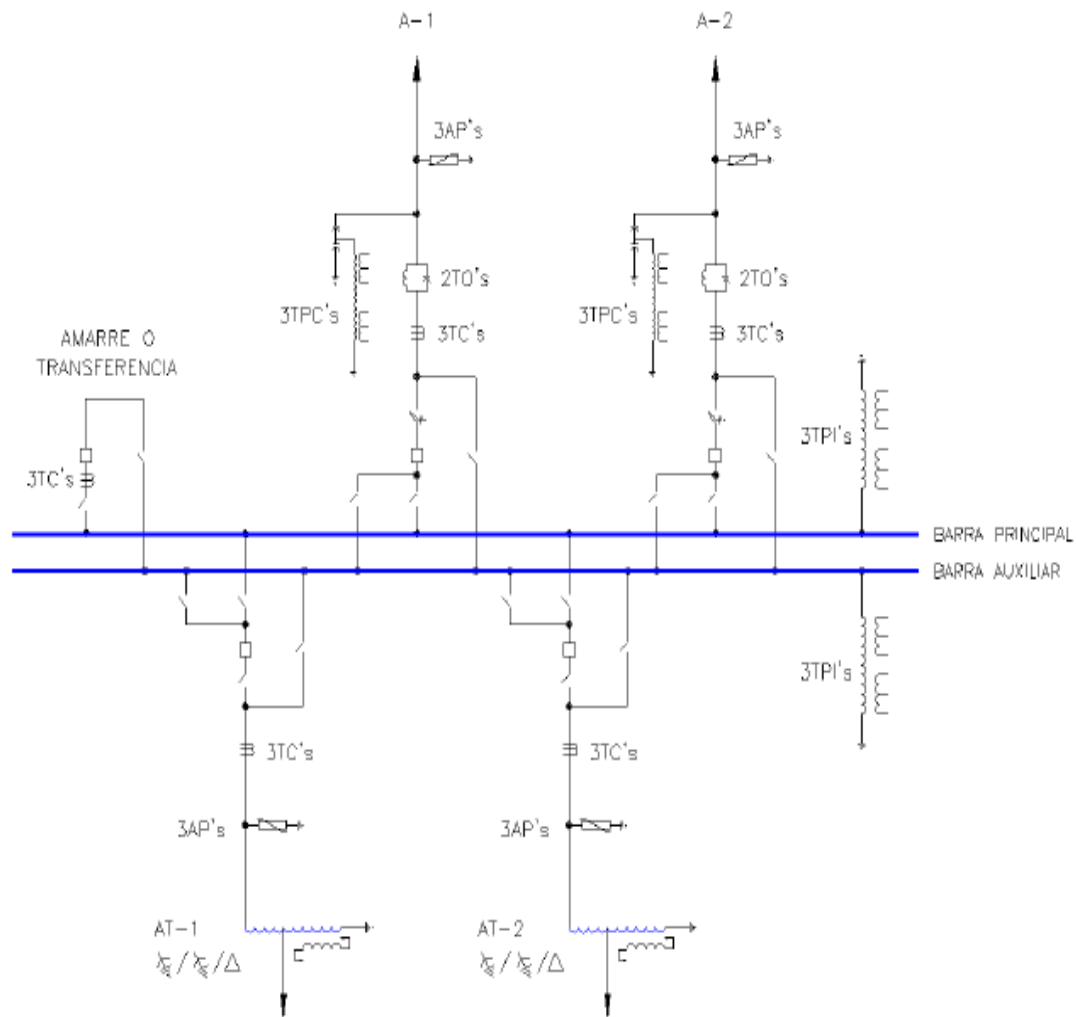
Barra principal y barra de transferencia

- c. *Barra principal, barra de transferencia e interruptor de transferencia.* Arreglo más flexible que el anterior, ya que cuentan con interruptor de transferencia, ofrece la facilidad para dar mantenimiento a cualquier interruptor sin interrumpir el servicio, se logra fácilmente adiciones de buses o interruptores en ampliaciones sin complicar el sistema. Aquí la barra principal es la única permanentemente energizada. Por contar con mayor cantidad de equipo se está más expuesta a sufrir fallas incrementándose también su costo y ocupando una mayor extensión de terreno. También al ocurrir una falla en cualquiera de las barras se produce la salida total. Este arreglo es ampliamente usado en subestaciones reductoras.



Barra principal, barra de transferencia e interruptor de transferencia

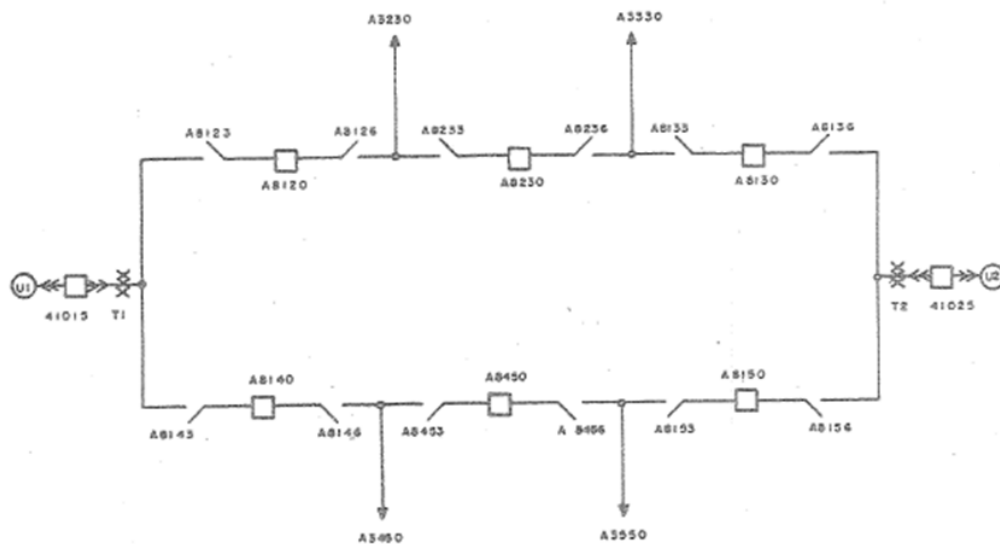
- d. *Doble barra con interruptor de transferencia.* Este arreglo utiliza la flexibilidad de conexión a través de cuchillas a la barra de preferencia (B1 ó B2), además de contar generalmente con interruptor de amarre de barras. Adicionalmente se cuenta con otra barra para transferir el circuito que requiera de mantenimiento. Normalmente en esta aplicación se encuentra con circuitos dobles a los mismos destinos, lo que permite distribuir la energía en cada barra. En caso de disturbio este arreglo permite, por la repartición de cargas, mantener una barra energizada y ocupar la de transferencia al mismo tiempo para un sólo alimentador. La relación costo-beneficio ubica este tipo de arreglo en desventaja con respecto a los demás, por lo que su aplicación es reducida a pesar de ser un arreglo muy confiable.



Doble barra con interruptor de transferencia

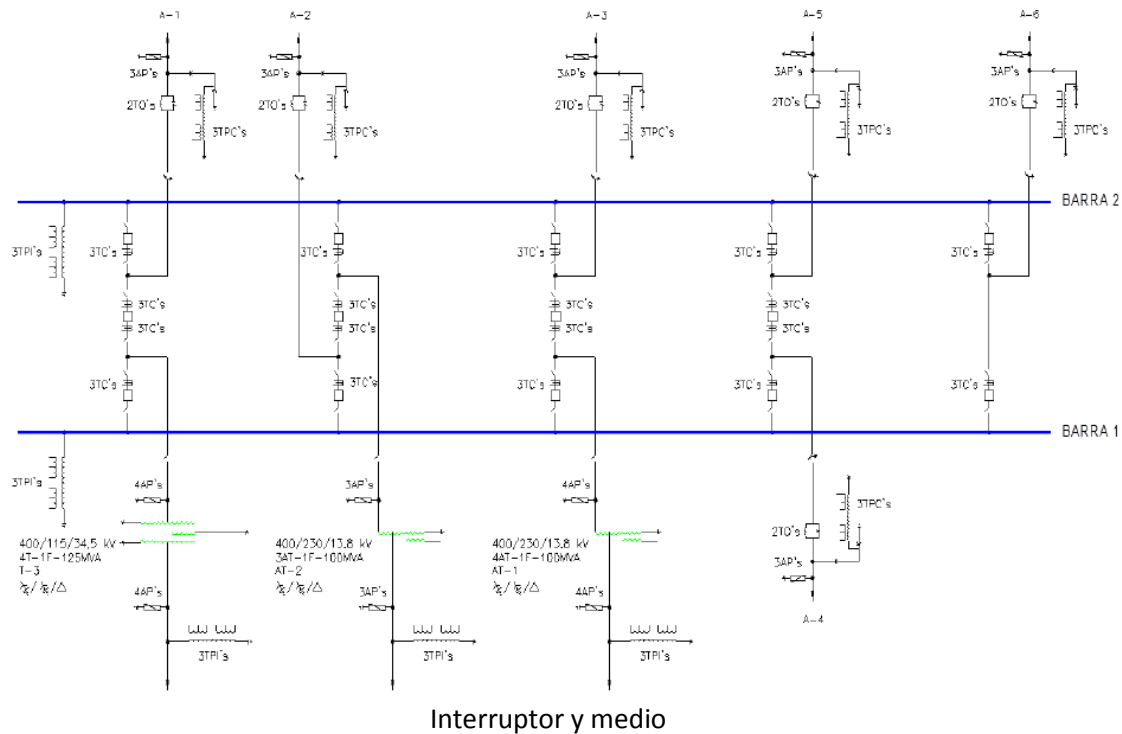
- f. *En anillo*. Este arreglo constituye una variante del de barra sencilla, dándole mayor flexibilidad al alimentarse los circuitos por dos caminos, ofreciendo la posibilidad de dar mantenimiento al equipo sin tener que dejar de proporcionar el fluido eléctrico, una ventaja adicional es que prácticamente con el mismo equipo primario (cuchillas e interruptores) de una subestación de arreglo de barra sencilla, se logra una subestación en anillo, donde se incrementa la flexibilidad de operación de la instalación.

Dentro de las desventajas que ofrece este arreglo se tienen: primero, que este tipo de arreglo es sólo eficiente con todos los interruptores cerrados; la segunda, es que no pueden probarse con facilidad el equipo de protección, medición y/o registro conectados a los circuitos secundarios de la línea, transformador, etc., como puede hacerse con otros arreglos y la tercera, que sin embargo puede ser superada, es que al tenerse que abrir el anillo por condiciones de mantenimiento o falla puede incrementarse la corriente que fluye por el resto de los interruptores conectados.



- g. *Interruptor y medio*. Este arreglo ofrece facilidad de mantenimiento, flexibilidad y confiabilidad, ya que al perderse una barra no se deja de alimentar la totalidad de la carga ni se pierden las fuentes de energía. Toma su nombre del hecho de compartir un mismo interruptor dos circuitos diferentes, contando además cada circuito de otro interruptor propio. Estas subestaciones tienen las dos barras principales energizadas permanentemente, siendo más complejos los arreglos de protección, control y medición. Requieren mayor cantidad de equipo y por ende son de mayor costo. Su empleo es ampliamente difundido en tensiones de 400, 230 y algunas subestaciones de 115 KV.

Una gran ventaja particular de este arreglo es que después de la pérdida incluso de ambos buses puede aún mantenerse la interconexión entre fuentes y cargas de la misma bahía. Existen dos desventajas de este arreglo, la primera estriba en que no pueden probarse con facilidad el equipo de protección, medición y/o registro conectados a los circuitos secundarios de la línea, transformador, etc., como puede hacerse con otros arreglos, la segunda es que el esquema se complica en los circuitos de control y protección de respaldo local.



Principales parámetros eléctricos que se consideran en el diseño de una subestación eléctrica

Esencialmente son cuatro los parámetros eléctricos que se consideran para seleccionar las características eléctricas de los elementos y equipos que se instalarán en una Subestación Eléctrica.

- Tensión nominal de operación.** Las tensiones normalizadas para subestaciones de potencia son, 13.8, 23, 34.5, 69, 115, 138, 161, 230, y 400kV.
- Nivel básico de aislamiento.** Determinada la tensión de operación, se fija la resistencia del aislamiento que debe de tener un equipo eléctrico para soportar las sobretensiones. Estas sobretensiones tienen diferentes procedencias:
 - Externa. Es la debida a descargas atmosféricas (rayos).
 - Interna. Es la debida a maniobras de interruptores y cuchillas.

El nivel de aislamiento de una subestación eléctrica se fija en función de la tensión nominal de operación y los niveles de sobretensión existentes en el sistema. Se conoce como Nivel Básico de Impulso (NBI) y sus unidades se dan en kilovolts (kV).

- Niveles de cortocircuito.** Es el valor máximo de corriente que se presenta en una instalación o sistema eléctrico cuando se presenta una falla de corto circuito. Este valor determina los esfuerzos electrodinámicos máximos que pueden soportar las barras colectoras y tramos de conexión; También es esencial para seleccionar la capacidad de algunos los equipos instalados en la subestación como los interruptores, seccionadores, cortacircuitos fusibles de potencia, transformadores de corriente, etc. El valor está dado en kiloamperes (kA).
- Corriente máxima de servicio.** Es el valor máximo admisible de que se prevé en condiciones normales de operación, es decir sin falla, en la instalación.

Principales elementos de una subestación eléctrica

Todos los elementos de una subestación eléctrica tienen una función que desempeñar y cada uno es importante de acuerdo a la ubicación que guarda dentro de la instalación, sin embargo se va a dar prioridad al conocer los de mayor importancia.

Los elementos que constituyen una subestación eléctrica son:

- a. Transformador
- b. Interruptor
- c. Transformador de instrumentos
- d. Cuchillas desconectadoras
- e. Estructuras de soporte
- f. Fusibles
- g. Apartarrayos
- h. Equipos de protección control y medición
- i. Barras
- j. Sistema de tierras
- k. Transformador de servicios propios

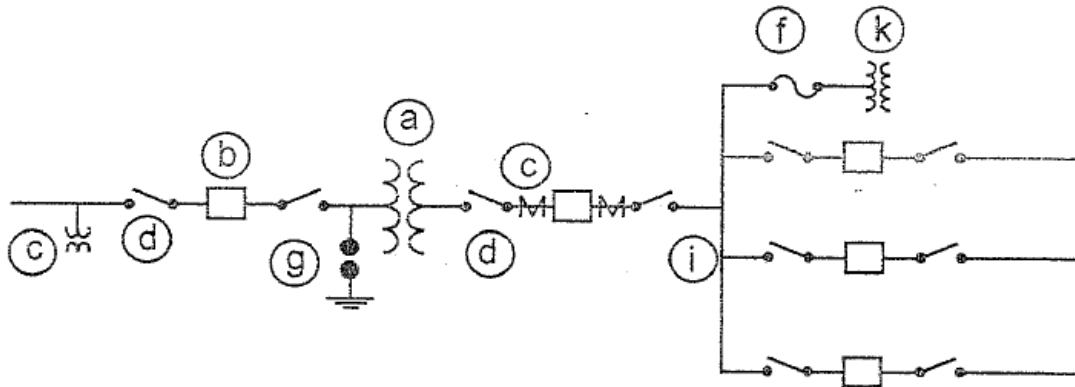


Diagrama unifilar indicativo para los elementos de una subestación eléctrica

Dependiendo del tipo, voltaje y potencia de la subestación eléctrica, estos elementos podrán o no formar parte de la instalación, siendo desde luego algunos elementos indispensables para el arreglo de una subestación eléctrica aún siendo de baja capacidad.