

GRADO EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE GRADO

*<DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN
TRANSFORMADORA MÓVIL
66/16 KV 40MVA >*

Alumno/Alumna: <Cañellas , Colom, Josep>

Director/Directora (1): <Fernández, Herrero, Elvira>

Curso: <2018-2019>

Fecha: <15, 07, 2019>

Resumen

En este documento se exponen los criterios utilizados para el diseño de una subestación móvil, que permita realizar operaciones de mejora y mantenimiento en la subestación fija. La ubicación de dicha subestación será la isla de Mallorca.

Las opciones de diseño de una subestación son muy variadas, pudiendo ser adaptadas a las necesidades del cliente, en este contexto, es importante valorar qué tipo de configuración es más viable para el uso que se le va a dar posteriormente, considerando en todo momento las restricciones existentes y haciendo especial hincapié en la necesidad de poder transportar la subestación a lugares remotos donde sea necesario su uso.

Summary

In this document, the design of a mobile substation is exposed in order to carry out improvement operations in the fixed substation, as well as maintenance operations, the location of the substation will be the island of Mallorca

The design options of a substation are many, being able to be adapted to the needs of the client, in this context, it is important to know what type of substation is more viable for the use that is going to be given to it. It is important to consider the existing restrictions and especially in the transport the substation to places of difficult access.

Laburpen

Dokumentu honetan, azpiestazio mugikorraren diseinua azpiestazio finkoan hobekuntzak egiteko eta baita mantentze lanak burutzeko ere, azpiestazioaren kokapena Mallorca izango da.

Azpiestazio baten diseinu aukerak asko dira, bezeroaren beharretara egokitu ahal izateko, testuinguru honetan garrantzitsua da jakitea zer azpiestazio mota bideragarria izango zaion erabiltzeko erabiltzeko. Garrantzitsua da lehendik dauden murrizketak eta, batez ere, azpiestazioak garraiatzeko sarbide zaila duten tokiak kontuan hartzea.

Tabla de Contenidos

Resumen	1
Summary.....	1
Laburpen.....	1
1.MEMORIA	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Contexto.....	7
1.3. Objetivos y alcance del trabajo.....	9
2. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	10
2.1. Descripción de equipos y procedimientos de una subestación eléctrica.....	11
2.1.1. Clasificación de las subestaciones en función de las tensiones:.....	11
2.1.2. Elementos básicos de una subestación.....	11
2.1.3. Tipos de subestaciones según su ubicación	12
2.1.4. Tipo de subestaciones según su tecnología	14
2.1.4.1. Tendencia de uso.....	16
2.1.4.2. Tamaño a ocupar	17
2.1.4.3. Conclusiones tecnología subestación.....	18
2.2. Elementos básicos de una subestación	20
2.2.1. Celda de alta tensión.....	20
2.2.1.1. Aparamenta de seguridad	21
2.2.1.2. Aparamenta de maniobra	22
2.2.1.3. Aparamenta de medida.....	24
2.2.2. Transformador de potencia.....	27
2.2.2.1. Partes de un transformador	29
2.2.2.2. Tipos de transformadores	29
2.2.2.3. Conexiones de un transformador.....	31
2.2.3. Celdas de media tensión	32
2.2.4. Baterías.....	34
2.2.5 Esquemas de conexión, configuraciones AT y BT.....	35
2.3. Protecciones y puesta a tierra	37
2.3.1. Protecciones por el lado de AT.....	38
2.3.2. Protecciones situadas en el Propio Transformador	38

2.3.3. Protecciones de media tensión	39
2.3.4. Funciones ANSI	39
2.3.4.1. Función de protección diferencial 87	40
2.3.4.2. Función de distancia 21	40
2.3.4.3. La función de protección de sobreintensidad direccional 67 ...	40
2.3.4.4. Ajuste de Protecciones	41
2.3.4.5. Coordinación de Relés	41
2.3.5. Pararrayos.....	41
2.3.5.1. Pararrayos de cuernos.....	42
2.3.5.2. Pararrayos de Resistencia variable: SiC.....	43
2.3.6. Terminales Aéreas de Captación	44
2.4 Elementos no Eléctricos.....	46
2.4.1 Hexafluoruro de Azufre (SF6)	47
2.5 Subestación móvil.....	48
2.5.1 Características Subestación móvil	48
2.5.2 Partes de la subestación Móvil.....	48
2.5.3 Comprobaciones y Pruebas	51
2.5.4 Transporte	51
2.5.4.1 Reglamentación sobre Vehículos pesados y Remolques	52
2.6. Cálculos	52
2.6.1. Calculo de la Intensidad en AT	53
2.6.2. Calculo de la Intensidad en BT.....	54
2.6.3. Cálculo de las Corrientes en régimen Transitorio	54
2.6.4. Cálculo de las protecciones de sobreintensidad	56
2.6.5. Puesta a Tierra	56
2.6.6. Distancias Dieléctricas	61
3. Planificación:.....	62
3.1. Ingeniería	62
3.2. Compra maquinaria	62
3.3. Trabajos previos.....	63
3.4. Pruebas	63
3.5. Pedido para instalación.....	64

3.6. Homologación de la subestación	64
3.7. Listado de tareas y paquetes de trabajo	64
3.8. Posibles mejoras	69
4. Presupuesto	71
5. Conclusiones	73
6. Referencias	74

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1, Red de transporte	7
Ilustración 2, Subestaciones de transformación	15
Ilustración 3, Subestación interior	16
Ilustración 4, Subestación intemperie	16
Ilustración 5, Subestación AIS	18
Ilustración 6, Subestación GIS	18
Ilustración 7, Subestación HIS	19
Ilustración 8, Características subestaciones	19
Ilustración 9, Avance de la tecnología	20
Ilustración 10, Tamaño según tecnología	21
Ilustración 11, Evolución de la tecnología	22
Ilustración 12, Comparación ais y gis	22
Ilustración 13, Subestación intemperie	23
Ilustración 14, Subestación gis	23
Ilustración 15, Seccionador de puesta a tierra	25
Ilustración 16, Seccionador doble	25
Ilustración 17, Interruptor SF6	27
Ilustración 18, Mecanismo interruptor	27
Ilustración 19, Transformador de intensidad	28
Ilustración 20, Transformador de tensión inductivo SF6	29
Ilustración 21, Equipos subestación	30
Ilustración 22, Transformador en seco	32
Ilustración 23, Transformador en aceite	32

Ilustración 24, Conexión delta estrella	35
Ilustración 25, Celda media tensión	36
Ilustración 26, Baterías	38
Ilustración 27, Simple barra	40
Ilustración 28, Doble barra	41
Ilustración 29, Pararrayos resistencia variable	47
Ilustración 30, Pararrayos óxido metálico	48
Ilustración 31, Puntas franklin	49
Ilustración 32, Puntas de cebado	50
Ilustración 33, Supresores de sobretensión	52
Ilustración 34, Equipo SF6	52
Ilustración 35, Subestación transformadora móvil	65
Ilustración 36, Tareas	66
Ilustración 37, Diagrama Gantt 1	66
Ilustración 38, Diagrama Gantt 2	54
Ilustración 39, Diagrama Gantt 3	54

Índice de Tablas:

Tabla 1, Categorías según tesiones	26
Tabla 2, Partes del mecanismo del interruptor	27
Tabla 3, Transformadores según tensión	29
Tabla 4, Equipos subestación	30
Tabla 5, Ventajas y desventajas del tranfomador en baño en aceite	33
Tabla 6, Ventajas y desventajas del transformador en seco	33
Tabla 7, Esquemas de conexión	39
Tabla 8, Ventajas y desventajas simple barra	40
Tabla 9, Característica pararrayos	48
Tabla 10, Presupuesto 1	67
Tabla 11, Presupuesto 2	68

1. MEMORIA

1.1. Introducción

El transporte de electricidad es un ámbito de la ingeniería que ha permanecido estático en los últimos cuarenta años en cuanto a innovaciones se refiere. Actualmente, se espera un cambio de tendencia debido al aumento de demanda de la energía eléctrica como consecuencia de su posible carácter renovable.

Se hace evidente una necesidad de mejora en todas las instalaciones eléctricas, consiguiendo así, una red de distribución más automática e inteligente. Un eje clave del transporte de electricidad son las subestaciones eléctricas capaces de modificar el valor de la tensión para su posterior uso.

Durante el período de mantenimiento de las subestaciones eléctricas, ya sea por mejora, reparación o cambio de alguno de sus componentes existen a priori 2 posibilidades: Parar el suministro (Inviabile a casi cualquier nivel) o construir una subestación provisional, esa posibilidad es la que se baraja en la mayoría de casos. Construir una subestación provisional soluciona el problema de continuidad de suministro, aunque se consigue a un precio muy elevado, aún considerando la reutilización de algunos de sus componentes ya que requiere su respectivo montaje y la construcción civil necesaria. Además, para su puesta en marcha son necesarias varias semanas, tiempo del que en la mayoría de los casos no se dispone.

Las subestaciones móviles son una gran alternativa a las subestaciones convencionales, gracias a que pueden ser utilizadas dónde y cuando quiera el cliente, en ese aspecto proporcionan una alternativa para el uso temporal en caso de emergencia, mejora o mantenimiento.

Por otro lado, podrían ser utilizadas en ciertos lugares geográficos donde se están realizando actividades temporales, como podría ser la minería o la industria. Evitando así la construcción de una subestación nueva, representando una alternativa más económica.

1.2. Contexto

La utilización industrial y comercial de la electricidad, por temas de seguridad, debe de realizarse en baja tensión, por el contrario, el transporte debe efectuarse en alta tensión, debido a que las pérdidas por joule están directamente relacionadas con el cuadrado de la corriente que circula por las líneas de transporte, por lo tanto, para conservar la potencia, se debe minimizar la intensidad y maximizar la tensión de las líneas de transporte. Se hace evidente que surge un problema para conseguir convertir la tensión/intensidad.

En un descubrimiento realizado en 1830 por Faraday y Henry, se descubrió que introduciendo en el sistema eléctrico una doble transformación de la relación tensión/intensidad, uniendo las ventajas de las bajas corrientes para la fase de transporte de la energía con las de las bajas tensiones para la generación y consumo, convirtiéndose los transformadores en un eje clave del transporte de la electricidad.

Actualmente existe una compleja red de transporte donde los transformadores desempeñan un trabajo crucial en: Estaciones Elevadoras, Subestaciones de transformación, Estaciones transformadora de distribución y centros de transformación, como se puede ver en la ilustración 1.

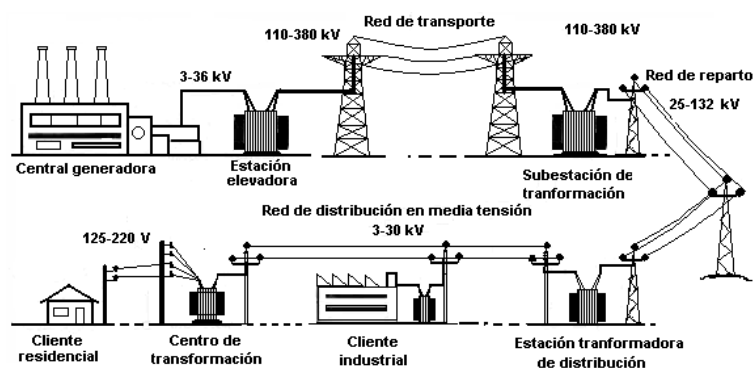


ILUSTRACIÓN 1, RED DE TRANSPORTE

Cada uno de ellos podría dar lugar a un proyecto de investigación, en este caso, se hará especial hincapié en las subestaciones de transformación, más concretamente en una solución que permita realizar el mantenimiento de las subestaciones, es decir una subestación temporal.

El siguiente documento de trabajo de fin de grado, representa el encargo de un cliente que solicita: una solución para el mantenimiento de un conjunto de subestaciones fijas situadas en la isla de Mallorca, cuya relación de transformación y potencia es 66/16 40MVA. La solución adoptada debe estar operativa a las pocas horas de detectar un fallo en una subestación del conjunto. El presupuesto acordado con el cliente es de 1.000.000 €.

Se opta POR DESARROLLAR UNA SUBESTACIÓN MÓVIL 66/16 40MVA. Todo el equipo necesario irá dispuesto sobre un semirremolque transportado por tráiler, pudiendo así, responder a todos los requerimientos, su tiempo de instalación y puesta en marcha será de unas pocas, y se reduce a la conexión a las líneas de alta y baja tensión, así como la conexión a tierra. Fases:

- 1.- Selección de toda la aparatada necesaria para la subestación, valorando aquellos parámetros convenientes.
- 2.- Descripción de la subestación dispuesta sobre su respectivo remolque.
- 3.- Desglose de un presupuesto orientativo
- 4.- Planificación del ensamblaje de la subestación transformadora.

1.3. Objetivos y alcance del trabajo

El objetivo del trabajo es el estudio de las distintas posibilidades que puede ofrecer una subestación transformadora, centrándonos en la subestación móvil, haciendo especial hincapié en sus ventajas.

Una subestación transformadora está compuesta por un gran número de equipos, cada uno con diferentes variantes según las necesidades. La subestación móvil a diseñar es de 66/16 KV 40MVA y permitirá sustituir durante el período de mantenimiento de las subestaciones fijas de estas características. Una vez definidas las necesidades de diseño se valorarán las posibilidades del equipo principal eligiendo en cada caso la opción más ventajosa, considerando en todo momento el presupuesto pactado con el cliente. Debido a que solo se busca mantener una visión general de las subestaciones móviles, no se va a valorar la elección de elementos secundarios.

Una vez definidas las necesidades y elegido el equipo necesario para el diseño, se realizarán los cálculos necesarios. Los cálculos no difieren significativamente de los de una subestación fija. Dependerán de las especificaciones del cliente.

Para facilitar una aproximación del tiempo de construcción de la subestación se realizará una planificación.

En el presupuesto se considerarán los elementos principales, con el objetivo de tener una idea aproximada del coste de este tipo de subestaciones sin profundizar, al igual como en la selección de equipos, en los componentes secundarios.

2. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

Objeto: Selección de la aparamenta adecuada para la subestación solicitada, fases:

- 1.- Apartado 2.1, visión general de los posibles equipos y configuraciones de una subestación transformadora, evaluando en cada caso las características, pros y contras. [2]
- 2.- Apartado 2.2 valoración y selección del equipo más adecuado para las necesidades especificadas, así como sus respectivas protecciones. [3]
- 3.- Apartados 2.3 y 2.4, protecciones. [4]
- 4.- Apartado 2.5, se va a presentar un diseño de la subestación con toda la aparamenta correctamente dispuesta en el semirremolque.
- 5.- Apartado 2.6, planificación del proyecto. [7]
- 6.- Apartado 2.7, cálculos necesarios para los equipos seleccionados, teniendo en cuenta que no se facilitan datos de aguas arriba ni de aguas abajo de la subestación. [7]

2.1. Descripción de equipos y procedimientos de una subestación eléctrica

Objeto: Selección del tipo de subestación a diseñar con la tecnología más adecuada, para así poder realizar la especificación de los elementos básicos y su disposición en el semirremolque correspondiente.

Una subestación eléctrica es una instalación que forma parte de un sistema eléctrico de potencia, sus funciones principales son:

- Transformación de la tensión.
- Transformación de la frecuencia.
- Transformación del número de fases.
- Rectificación y compensación del factor de potencia.

2.1.1. Clasificación de las subestaciones en función de las tensiones:

- 1ª categoría: 132kV.
- 2ª categoría: 30, 45, 66kV.
- 3ª categoría: 3, 6, 10, 15, 20kV.
- Categoría especial: 220, 400kV.

2.1.2. Elementos básicos de una subestación

- Pararrayos AT
- Seccionador
- Fusibles AT
- Transformador de potencia
- Interruptor MT
- Transformador de tensión
- Transformador de corriente
- Batería
- Celda de Media Tensión

(v. Reglamento de Alta Tensión MIE-RAT 01-55).

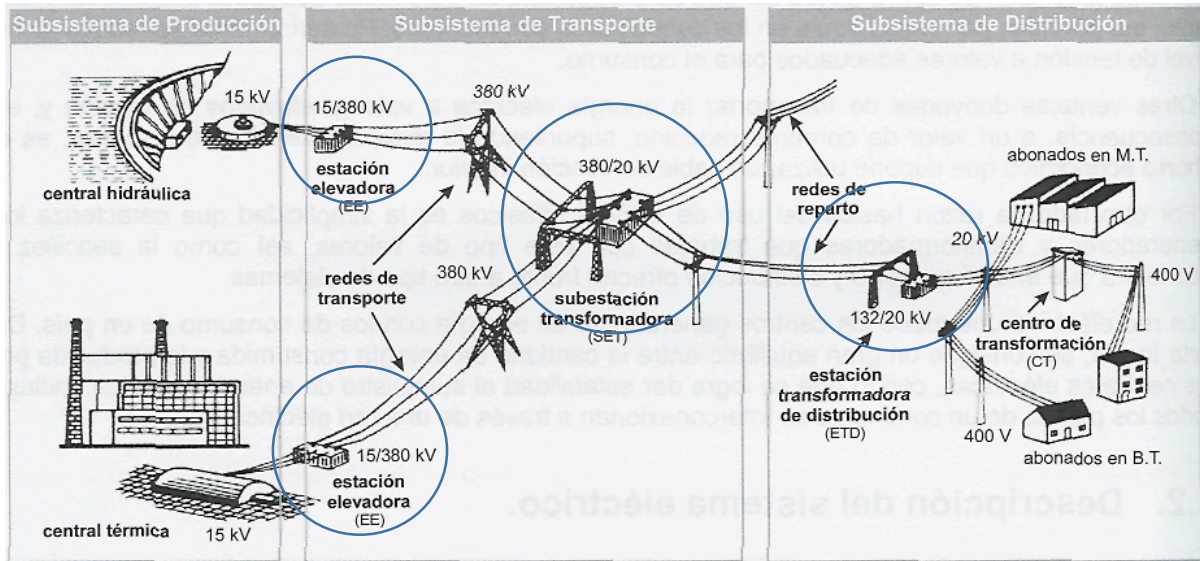


ILUSTRACIÓN 2, SUBESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN

Una subestación eléctrica, ilustración 2, puede ser una estación de transformación, la cual es capaz de aumentar y reducir la tensión y por lo tanto conectan dos circuitos uno será la parte de alta tensión y la otra de baja tensión, es posible clasificar las subestaciones en:

- Subestación transformadora elevadora.
- Subestación transformadora reductora.

La demanda del cliente se concreta una subestación transformadora reductora para poder disminuir la tensión de segunda categoría 66KV a 16kV.

2.1.3. Tipos de subestaciones según su ubicación

- Subestaciones interiores: se instalan en el interior de los edificios, ejemplo, ilustración 3.
- Subestaciones a la Intemperie: se instalan en el exterior y se alimentan de las líneas aéreas, ejemplo, ilustración 4.



ILUSTRACIÓN 3, SUBESTACIÓN INTERIOR



ILUSTRACIÓN 4, SUBESTACIÓN INTEMPERIE

Las subestaciones **tipo Intemperie** están diseñadas para poder operar al aire libre estando expuestas a las condiciones meteorológicas, lluvia, viento, granizo o temperaturas extremas, también se debe considerar su exposición a la contaminación. En consecuencia, este tipo de subestaciones necesitan de unos aislamientos correctamente diseñados que permitan alargar la distancia dieléctrica y mantener la rigidez dieléctrica necesaria. Al estar a la intemperie, se debe de considerar el impacto visual de la instalación de la aparata.

Las subestaciones **interiores** se construyen en interior de edificios. La aparata de cada posición se dispone en un recinto, o celda de distribución, su aislamiento puede ser por aire o por SF6, se hace necesario considerar todos los parámetros meteorológicos, cabe tener en cuenta la obra civil respectiva.

Se opta por: UNA SUBESTACIÓN A LA INTEMPERIE debido a los siguientes factores:

- Se hará uso de una subestación ultra compacta con el objetivo de reducir al máximo el tamaño de la subestación.
- El objeto de la subestación es su funcionamiento en zonas alejadas, reduciendo así el impacto visual que podría provocar.
- La obra civil que deberá realizarse en el semirremolque donde irá colocada la subestación, implicará un aumento considerable en las dimensiones y peso lo cual podría complicar su transporte.

- La demanda del cliente es una subestación transformadora 16/66 kv, las subestaciones interiores son una solución para subestaciones secundarias o de distribución (m.t. hasta 36kv)
- Al no estar instalada en interior, se hace más sencilla y rápida la conexión a los circuitos de alta y baja tensión.
- Su mantenimiento se facilita gracias a su fácil acceso a toda la aparamenta.

2.1.4. Tipo de subestaciones según su tecnología

Destacan 3 tipos de subestaciones según su tecnología:

- **Subestaciones AIS:** Es la tecnología más antigua, la aparamenta, así como los cables y el embarrado están aislados en aire (ilustración 5), además, cada equipo es individual y tendrá que ir separado del resto, es por ello que las subestaciones con tecnología AIS requieren una gran extensión para cumplir las distancias de seguridad.
- **Subestaciones Blindadas o GIS:** Toda la aparamenta se encuentra encapsulada en SF6, así se consigue reducir cuantitativamente el espacio ocupado, en este tipo de subestaciones aparecen otras variables, como puede ser la presión del gas SF6 o el sellado de los diferentes tanques, se puede ver un ejemplo en la ilustración 6.
- **Subestaciones de tecnología Híbridas-HIS:** Es una combinación de ambas, formadas con interruptores y seccionadores de puesta a tierra, las boronas de conexión son aéreas (Aislamiento en Aire) y los interruptores y seccionadores van encapsulados en SF6, es decir aislamiento en SF6 de las partes activas y aislamiento en aire de las zonas pasivas (ilustración 7).



ILUSTRACIÓN 5, SUBESTACIÓN AIS



ILUSTRACIÓN 6, SUBESTACIÓN GIS

1. Interruptor de Potencia
2. Accionamiento de acumulador
3. Módulo de salida con seccionador y cuchilla
4. Módulo divisor
5. Transformador de Corriente
6. Transformador de Tensión
7. Caja de Bornes del transformador
8. Cuchilla de tierra rápida
9. Salida del cable
10. Bushing Aéreo
11. Bastidor

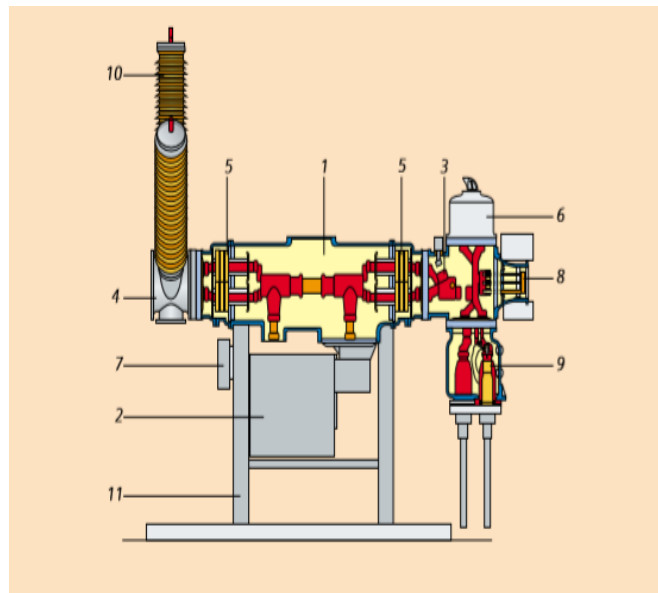


ILUSTRACIÓN 7, SUBESTACIÓN HIS

En la ilustración 8 podemos observar las diferentes características de las diferentes tecnologías:

TIPO	AIS	DTB	HIS	GIS
Instalación	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior Interior
Interruptor encapsulado		✓	✓	✓
Seccionador encapsulado			✓	✓
Barraje encapsulado				✓
TC encapsulado		✓	✓	✓
TV encapsulado			✓	✓

ILUSTRACIÓN 8, CARACTERÍSTICAS SUBESTACIONES

Para valorar qué tipo de tecnología se va a utilizar, analizaremos exhaustivamente las siguientes características.

2.1.4.1. Tendencia de uso

Se valora la tendencia de uso de cada una de las tecnologías. No será el parámetro principal a valorar, sin embargo, es imprescindible tener presente qué tipo de tecnologías se usan con mayor frecuencia, y las que los principales fabricantes prevén que van a utilizarse en el futuro, para así poder tener una perspectiva, y no optar por medidas que puedan estar desfasadas en el futuro, complicando así el mantenimiento y reemplazo de componentes. El fabricante que nos ha facilitado estos datos es “SNC-LAVIN”

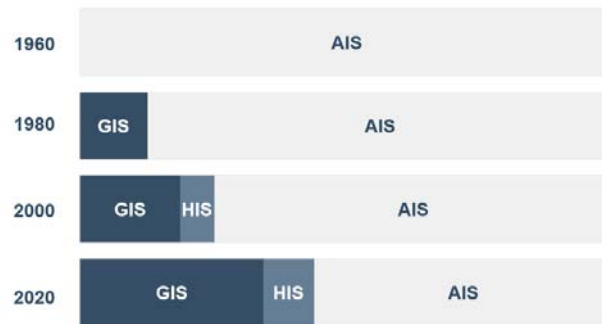


ILUSTRACIÓN 9, AVANCE DE LA TECNOLOGÍA

Como podemos observar en la ilustración 9, la tecnología más usada, en lo que subestaciones se refiere, es por excelencia la tecnología AIS, aun así, se puede observar que la tendencia actual y la previsión de futuro es el incremento exponencial de la tecnología GIS y en menor medida un incremento de la tecnología HIS.

2.1.4.2. Tamaño a ocupar

Uno de los puntos claves para el diseño de una subestación móvil es conseguir el mínimo tamaño posible, ya que así será posible reducir el tamaño del semirremolque donde estará dispuesta toda la apartamenta, por un lado. Ello conllevará una reducción de costes al poder disponer de un semirremolque menos costoso, y además se conseguirá hacer la subestación más accesible a geografías de difícil acceso, como podrían ser zonas montañosas.

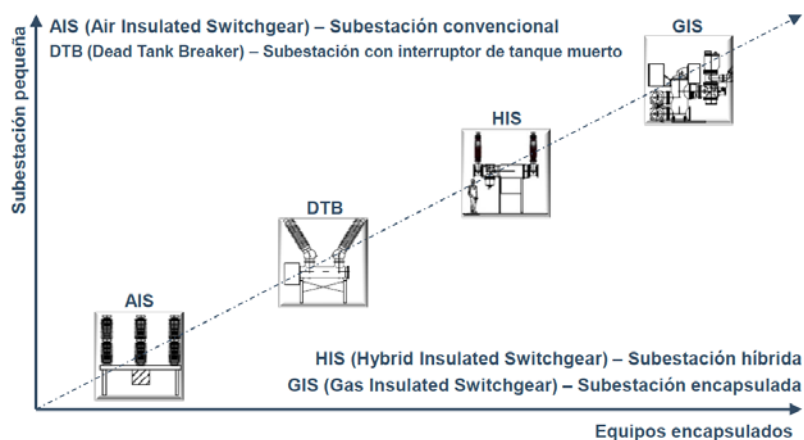


ILUSTRACIÓN 10, TAMAÑO SEGÚN TECNOLOGÍA

En la: **ilustración 10** es fácil observar que el tamaño de la subestación disminuye a cuantos más componentes encapsulados.

2.1.4.3. Conclusiones tecnología subestación.

Por todo lo valorado se podría descartar la tecnología AIS para el diseño de una subestación móvil. Por lo tanto, se considera que existen dos tecnologías viables: la tecnología HIS y la tecnología AIS.

La tecnología GIS reduce en mayor medida la ocupación de superficie, sin embargo, el tiempo de reposición de la solución GIS es mayor que en la híbrida. Aun así, siguiendo la evolución tecnológica y la tendencia de uso. **Se opta POR INSTALAR UNA SUBESTACIÓN MÓVIL CON TECNOLOGÍA GIS.** Valorando que:

- Es una solución para amplio rango de tensiones: 40 kV – 800 kV.
- Todos los elementos de la instalación están contenidos en envolventes metálicas por cuyo interior circula SF6 a presión mayor que la atmosférica.
- Son módulos individuales que se interconectan eléctrica y mecánicamente.
- Supone una reducción de espacio importante

En las **ilustraciones 11 y 12** se puede ver la evolución que implica el uso de la tecnología GIS en comparación con la AIS.

TIPO	AIS	GIS	Aplicaciones GIS
Espacio	Ilimitado	Limitado	Ciudades, industrias y zonas montañosas
Ambiente	Normal	Extremo	Contaminación, viento y limitado acceso
Mantenimiento	Normal	Reducido	Mano de obra costosa y escaza

ILUSTRACIÓN 11, EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

AIS	GIS
✓ Diseño estructural y espacial	✓ Diseño modular y compacto
✓ Instalación exterior	✓ Instalación interior y exterior
✓ Mayor espacio	✓ Menor espacio
✓ Exposición a la intemperie	✓ Aislamiento a la intemperie
✓ Menor seguridad	✓ Mayor seguridad
✓ Menor confiabilidad	✓ Mayor confiabilidad
✓ Menor costo de equipos	✓ Menor costo de O&M
✓ Menor vida útil	✓ Mayor vida útil
✓ No requiere monitoreo de aire	✓ Monitoreo continuo de gas

ILUSTRACIÓN 12, COMPARACIÓN AIS Y GIS

Algunas de las innovaciones que aporta la tecnología GIS son:

- Paso de aislamiento monofásico a trifásico, implicando una mayor integración en las instalaciones.
- Paso de aislamiento en aire a SF6



ILUSTRACIÓN 13, SUBESTACIÓN INTEMPERIE



ILUSTRACIÓN 14, SUBESTACIÓN GIS

En las ilustraciones 13 y 14 se puede observar la importancia de seleccionar en primer lugar el tipo de subestación y la tecnología a utilizar, ya que el uso de la tecnología AIS (ilustración 13) o el uso de la tecnología GIS (ilustración 14) implica un cambio radical en la disposición y en el tipo de elementos básicos.

2.2. Elementos básicos de una subestación

Objeto: Exponer los fundamentos teóricos de los distintos componentes básicos, para seleccionar los más adecuados de toda la aparamenta del diseño de la subestación móvil.

La puesta y retirada de servicio del transformador, las revisiones y operaciones de mantenimiento, las desconexiones automáticas etc. necesitan de unos elementos electrónicos englobados genéricamente bajo la denominación de aparamenta eléctrica. La aparamenta eléctrica se puede dividir, atendiendo a su situación respecto el transformador, en aparamenta de alta tensión y aparamenta de baja tensión.

Atendiendo a esa división y a las conclusiones sacadas en el apartado anterior se va a seguir ese orden para la selección de todos los equipos.

2.2.1. Celda de alta tensión.

La aparamenta de alta tensión que se utilizará va ligada al tipo de tecnología que se ha elegido en el anterior apartado (2.1.1). En una subestación de transformación, son

necesarias funciones de seguridad, maniobra y protección. Los diferentes, se dividen perfectamente según su funcionalidad, es por eso que, para la elección de la aparamenta de alta tensión se ha optado por esta división.

2.2.1.1 Aparamenta de seguridad:

Tiene como misión establecer, con suficientes garantías, tanto en circunstancias normales como en excepcionales, el aislamiento del centro de transformación y sus elementos auxiliares de la Red de alimentación eléctrica, esta función la aseguran los seccionadores y sus características están recogidas en la Norma UNE 220.100-90

Seccionador: Es un aparato eléctrico, de accionamiento mecánico, destinado a la apertura y cierre de circuitos en tensión cuando no están recorridos por corriente. Su función es aislar tramos de circuito de forma visible, para así poder confirmar que los tramos aislados están libres de tensión (no poseen capacidad de corte). Los circuitos que se van a interrumpir con seccionadores solo pueden maniobrar en vacío ya que son incapaces de extinguir el arco eléctrico.

Principalmente se van a necesitar dos seccionadores, el seccionador de puesta a tierra y el seccionador de aislamiento.

Seccionador de puesta a tierra, (ilustración 15) cuya función es aislar la conexión tierra, siendo así una forma de conexión segura en caso de corrientes de cortocircuito.

Seccionador de aislamiento, cuyo tipo de seccionador elegido será el barraje doble con seccionadores (ilustración 16), consiguiendo así un aislamiento adecuando con gas SF6 en la distancia de aislamiento. Existe la posibilidad de accionamiento manual.

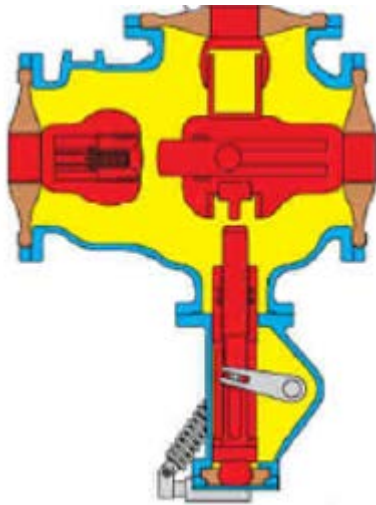


ILUSTRACIÓN 15, SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA

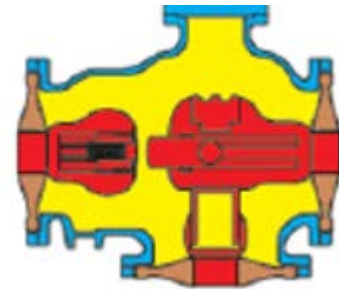


ILUSTRACIÓN 16, SECCIONADOR DOBLE

Los seccionadores elegidos para el diseño del proyecto irán en el mismo capsulado y la maniobra del seccionador estará controlada por la posición del interruptor de maniobra, para así conseguir que dicho seccionador no pueda maniobrar salvo que el interruptor esté cerrado, como se verá en el siguiente apartado (2.1.2.1.2).

Aparamenta de Maniobra.

2.2.1.2. Aparamenta de maniobra:

Su misión es poner y retirar de servicio la subestación transformadora, soportando transitorios de conexión y desconexión de forma permanente, los aparatos que aseguran esta capacidad de maniobra son los interruptores. La norma UNE 20-104-90 las recoge.

- **Interruptores:** Su función es la interrupción de corriente, son capaces de soportar y maniobrar corrientes de carga nominal como sobre intensidades y cortocircuito en un intervalo de tiempo determinado.
- **Disyuntores o Interruptor automático:** Se trata de un aparato mecánico, el cual es capaz de establecer, interrumpir y soportar sobreintensidades y corrientes de cortocircuito.

Existen diferentes categorías según tensiones eléctricas presentes (RD 3275-1982) como se puede ver en la tabla 1.

TABLA 1, CATEGORÍAS SEGÚN TENSIONES

Primera Categoría	Tensiones mayores a 66 kV
Segunda Categoría	Tensiones igual o inferior 66KV y superior 30KV
Tercera Categoría	Tensiones igual o inferior a 30KV y superior a 1KV

Consideraciones sobre los interruptores:

- Capaz de soportar y maniobrar corrientes nominales del circuito, pero no cortar las corrientes de cortocircuito
- Los interruptores pueden asociarse a cortacircuitos fusibles
- La norma UNE 20.104-75 establece las condiciones que deben cumplir los interruptores

Cuando se interrumpe la corriente a través de un interruptor, siempre se hace a través del arco eléctrico, que mantienen el circuito cerrado por ionización del medio aislante hasta el final del proceso de corte. Esta circunstancia hace que necesariamente la velocidad de separación de los contactos en los interruptores tenga que ser independiente de la velocidad de accionamiento por parte del operador, ya que dicho arco debe ser extinguido lo más rápido posible (rápida desionización del medio).

Todos los interruptores irán encapsulados y aislados en SF₆ (ilustración 17), los cuales trabajan por compresión y descompresión de dicho gas. Para la conexión y desconexión del interruptor actúa un mecanismo (ilustración 18), con sus diferentes partes recogidas en la tabla 2, que a partir de un émbolo "1" (ilustración 18) produce una separación en la cámara de extinción "2" (ilustración 18). Durante la desconexión, dicho embolo aporta la presión necesaria capaz de extinguir el arco eléctrico.

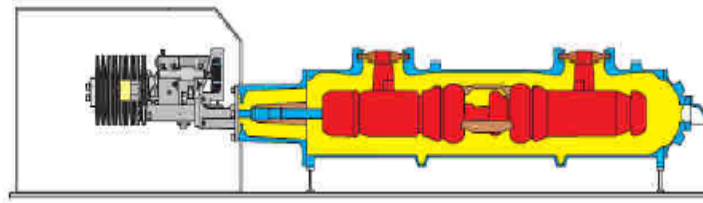


ILUSTRACIÓN 17, INTERRUPTOR SF6

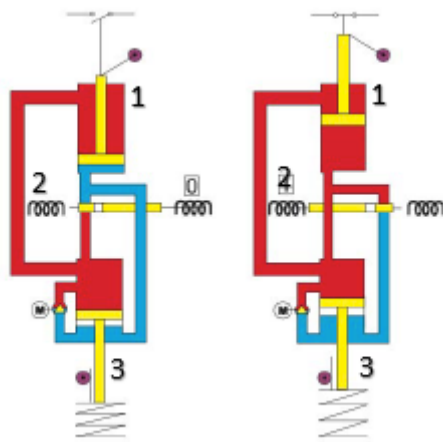


TABLA 2, PARTES DEL MECANISMO DEL INTERRUPTOR

1: Émbolo
2: Cámara extinción
3: Válvula de control

ILUSTRACIÓN 18, MECANISMO INTERRUPTOR

2.2.1.3. Aparamenta de medida:

Los aparatos de medida no están preparados para soportar elevadas corrientes y temperaturas, sería posible, pero por cuestión de precio se descarta, por ello se necesitan los transformadores de protección y medida, su función principal es adaptar los valores de tensión e intensidad para los aparatos de medida y protección

Trafo de Intensidad(TI): Es un transformador reductor, es decir, con muchas más espiras en el secundario que en el primario, El secundario estará conectado en serie a un amperímetro para su posterior medida.

El transformador de intensidad (ilustración 19) va a ser instalado detrás del interruptor automático, dentro de un blindaje donde irán instalados los núcleos.



ILUSTRACIÓN 19, TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD

Trafo de Tensión(TT): Es un transformador donde el devanado secundario es conectado a un voltímetro para su posterior medida.

- **Inductivo:** es un transformador con muchas más espiras en el 2º que el 1º. El 2º se conecta en serie a un amperímetro.
- **Capacitivo:** es un transformador reductor en el que el devanado 1º se conecta en paralelo a la tensión a medir y el devanado 2º a un voltímetro.

La elección de la tecnología del transformador de tensión, para una subestación GIS dependerá de la tensión según la tabla 3:

TABLA 3, TRANSFORMADORES SEGÚN TENSIÓN

Tensión	Tecnología del Trafo	Tipo de Aislamiento
< 170 KV	Transformador Inductivo	Aislamiento en carcasa con gas SF6
> 123 KV	Transformador Inductivo	Aislamiento con láminas y gas SF6
>300 kV	Transformador Capacitivo	Aislamiento con aceite, y aislado dentro de una carcasa con SF6

Las capacidades de baja tensión y aparatos de adaptación inductiva se encuentran en el interior de un depósito separado en el lado de potencia de tierra.

Siendo la tensión de transformación de la subestación conocida 16/66 KV se va a usar un transformador de tensión Inductivo, aislamiento en carcasa con gas SF6 como se muestra en la (ilustración 20)

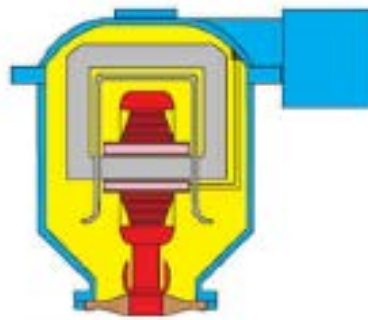


ILUSTRACIÓN 20, TRANSFORMADOR DE TENSIÓN INDUCTIVO SF6

Elegidos todos los componentes principales de la celda de Alta tensión (apartado 2.2.1). En la ilustración 21 se puede observar la disposición de los distintos equipos mencionados en la tabla 4, consiguiendo con la utilización de la tecnología GIS una disminución importante de su tamaño, siendo posible su colocación sobre un semirremolque.

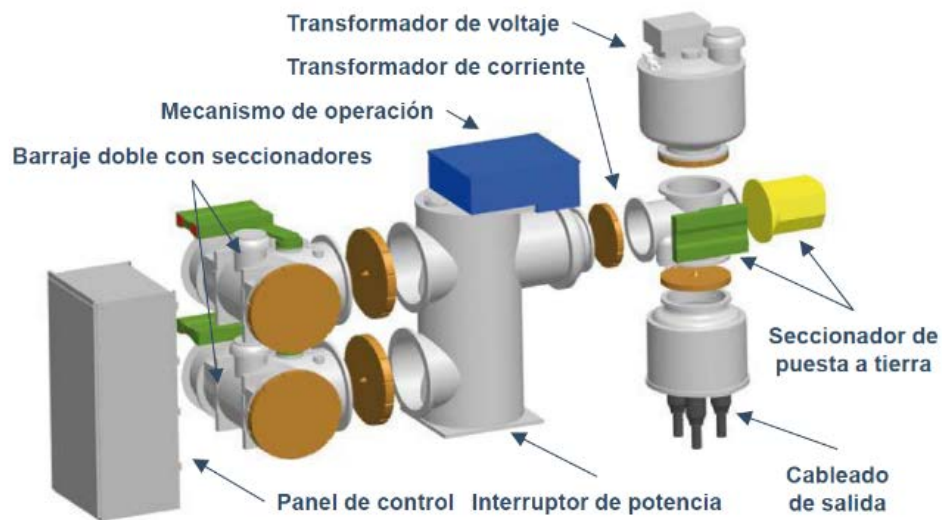


ILUSTRACIÓN 21, EQUIPOS SUBESTACIÓN

TABLA 4, EQUIPOS SUBESTACIÓN

Barraje doble con seccionadores	Panel de Control
Mecanismo de Operación	Interruptor de potencia
Transformador de Intensidad	Seccionador puesta a tierra
Transformador de Tensión	Panel de Control

2.2.2. Transformador de potencia:

En el apartado anterior se ha estudiado la configuración de toda la aparamenta de alta tensión, y esta debe alimentar al transformador de potencia. El transformador de potencia es uno de los elementos más importantes, debido a que es el encargado de transformar la tensión, en este caso de 66 KV a 16 KV, por lo tanto, una vez realizada la reducción alimentará la celda de media tensión.

Debemos seleccionar el transformador de potencia más adecuado para cubrir las necesidades de transformación, es por ello que:

- 1.- Se planteará una visión general de sus características y sus respectivas partes. Existen diferentes tipos de transformadores según su tecnología, por ello es necesario valorar qué tipo de transformador es más adecuado para una subestación móvil.
- 2.- Se seleccionarán las conexiones más adecuadas con la parte de alta tensión y baja, considerando su fiabilidad y seguridad.

No es objeto de este documento el estudio en profundidad de los transformadores en general (tema sobre el cual se podría realizar un estudio completo). El transformador de potencia es un dispositivo eléctrico capaz de variar la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, sin que por ello se vea afectada su potencia, por lo tanto, es una máquina eléctrica capaz de adecuar la corriente para el transporte y distribución, por lo tanto, es un aparato estático capaz de transferir por inducción electromagnética tensiones e intensidades en corriente alterna, consiguiendo así distintos valores de intensidad y tensión, manteniendo constante la frecuencia.

2.2.2.1. Partes de un transformador:

- **Armazón o Núcleo magnético:** donde se crea un circuito magnético cerrado
- **Devanados:** Son los encargados de transportar la energía eléctrica a las cargas.
 - Devanado Primario: Es la que se conecta a la fuente de energía y lleva la corriente por la línea de suministro.
 - Devanado Secundario: Se encarga de llevar la energía a la carga y donde se produce la fuerza electromotriz debido al cambio de magnetismo en el núcleo que le rodea.
- **Núcleo de material magnético:** Circuito magnético en el cual van enrollados los devanados.
- **Bornes de alta y baja:** Donde se efectúan las conexiones entre líneas
- **Medio Refrigerante:** El núcleo y los devanados pueden estar sumergidos en líquido como Aceite o Piraleno, que actúan de refrigerantes y aislantes o estar expuestos directamente al aire por lo que no existe ningún aislante.

2.2.2.2. Tipos de transformadores

Es clave la correcta selección del tipo de transformador, para ello se valorarán las distintas ventajas y desventajas de cada tipo. Se deberá elegir entre las dos posibilidades siguientes:

- Transformador en baño en aceite (ilustración 23)
- Transformador en seco (ilustración 21).



ILUSTRACIÓN 22,
TRANSFORMADOR EN SECO

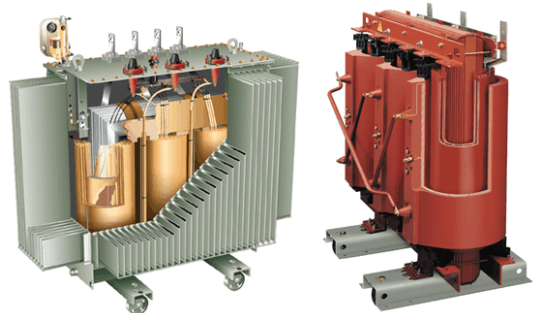


ILUSTRACIÓN 23,
TRANSFORMADOR EN ACEITE

Transformador en Baño en aceite: Las ventajas y desventajas frente los transformadores en seco quedan reflejados en la tabla 5.

TABLA 5, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRANSFORMADOR EN BAÑO EN ACEITE

Ventajas	Desventajas
Menor costo Unitario, un 30% menor	Baja temperatura de inflamación, y por lo tanto riesgo de incendio
Menor ruido	Necesidad de construcción de un colector apagallamas e implica un aumento del coste de la obra civil
Menores pérdidas en vacío	Mayor mantenimiento
Mejor control de funcionamiento	Alturas máximas 1000m
Pueden instalarse a la intemperie	
Buen funcionamiento en atmósferas contaminadas	
Mayor resistencia a sobretensiones	

Transformador en seco: Las ventajas y desventajas frente los transformadores de baño en aceite quedan reflejados en la tabla 6.

TABLA 6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRANSFORMADOR EN SECO

Ventajas	Desventajas
Menor obra civil, la cual ocupa espacio	No deben tocarse sus superficies exteriores
Menor riesgo de incendio	Mayor coste por unidad
Menor tamaño por unidad	Mayor ruido
	No adecuados para una instalación a la intemperie
	Máximas tensiones de 66KV

En nuestro caso, un factor condicionante en la elección del transformador es la altura máxima a la que puede ser utilizado, En el caso del transformador en aceite es de 1000 metros, la subestación móvil tiene la ventaja de la flexibilidad para funcionar en sitios remotos, ventaja que quedaría limitada a zonas montañosas de más de mil metros en el caso de utilizar un transformador de aceite.

El tamaño también es un factor determinante para la elección del transformador, El transformador en aceite ocupa más espacio, además de requerir más obra civil, pero por otro lado los transformadores en seco no son adecuados para una instalación a la intemperie, por lo tanto, se debería instalar dentro de un compartimento que lo aislara de la intemperie.

Desde el punto de vista de la seguridad optaríamos también por la opción seca debido riesgo de incendio del aceite.

Respecto al tema económico y rentabilidad, se ha mencionado que la adquisición de un transformador en aceite es un 30% más económico que el coste por unidad de un transformador en seco. Siendo el transformador el elemento más caro de la subestación, es un aspecto a considerar, pero también cabe destacar que el coste mensual de las compañías aseguradoras es mayor, el costo de la obra civil es mayor, así como también tiene mayor mantenimiento. Aun así, la opción más viable desde el punto de vista económico sería el transformador en aceite.

Valorando todas las ventajas y desventajas de los 2 tipos de transformador **se opta POR LA OPCIÓN SECA**, aceptando así un coste más elevado y la necesidad de ir alojado en un compartimento cerrado.

2.2.2.3. Conexiones de un transformador

- Estrella.
- Triángulo.
- ZigZag.
- Abierta.

El esquema a utilizar en el lado de AT será triángulo, con cuatro tomas suplementarias en vacío y el esquema a utilizar en el lado de BT será Estrella con neutro accesible (ilustración 22).

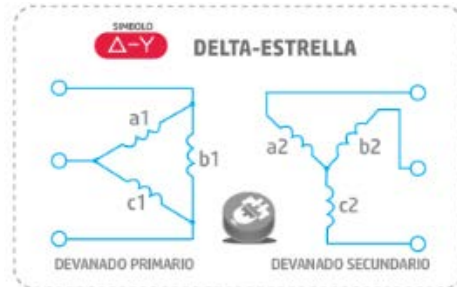


ILUSTRACIÓN 24, CONEXIÓN DELTA ESTRELLA

2.2.3. Celdas de media tensión

El transformador irá conectado por la parte de baja tensión con la armadura de media tensión, en este caso **se opta** POR UNAS CELDAS DE MEDIA TENSIÓN PREFABRICADAS (ilustración 25) debido a su rentabilidad económica.



ILUSTRACIÓN 25, CELDA MEDIA TENSIÓN

El objetivo de este apartado es explicar las funciones de las celdas de media tensión, así como seleccionar el tipo de aislamiento a utilizar según conveniencia.

Toda la aparamenta estará montada y conexas entre si dentro de los recintos metálicos prefabricados, con una salida de conexión al exterior aérea de 16KV, la cual cerrará el proceso de transformación de la subestación.

Dentro del conjunto de celdas habrá los equipos de medida, maniobra, protección y control. Estas secciones son construidas de forma modular, es decir, que en un módulo tendremos los equipos de medida, y en otro se localizará el equipo de maniobra. La clasificación de las celdas depende del aislamiento que se utiliza:

- **Aislamiento en SF6:** Como se ha comentado en múltiples ocasiones la característica principal, de este tipo de aislamiento es la estación del arco eléctrico con el gas SF6
- **Aislamiento al Aire:** Se caracteriza por el uso del aire para la extinción del arco eléctrico

Al igual que en la elección del tipo de tecnología a utilizar para la subestación, la tendencia actual es el uso del gas SF6 para la extinción del arco debido a sus buenas propiedades dieléctricas y una reducción cuantitativa del tamaño, debido que el tamaño es un parámetro crítico para el diseño de la subestación móvil. **se opta por LA ELECCIÓN DE UNA CELDA DE TENSIÓN CON AISLAMIENTO CON SF6** a pesar de ser más caro.

En una celda de tensión existen diferentes módulos, los cuales tienen funciones bien diferenciadas, así como aparamenta distinta dependiendo del tipo de módulo, una posible clasificación sería la siguiente:

- **Celdas de línea:** Su función es recibir los cables de la acometida, o dar salida para los centros de distribución. Habrá una celda por cada línea de red que entre o salga de la subestación
- **Celda de Protección:** Habrá una celda de protección por transformador y estará montada lo más inmediatamente anterior al transformador posible. Enlazada

con la celda de línea. Formada por un interruptor más un seccionador con fusibles para así poder proteger ante posibles cortos.

- **Celda de Medida:** En esta celda se alojarán los transformadores de tensión y corriente reduciendo la intensidad y tensión para que los aparos poder alimentar los equipos de medida.
- **Celda de salidas de BT:** Se instala una o dos por transformador. Pueden incorporar equipos de media de BT

2.2.4. Baterías

En las subestaciones es necesario disponer de un suministro de corriente continua, debido a que lo habitual es que muchos dispositivos como el de control o protección sean alimentados en corriente continua.

Debido a esa necesidad, se considera oportuno dedicarle un apartado, cuyo objeto no es profundizar en los elementos teóricos, sino hacer una selección de la batería más adecuada para la subestación móvil.

Una batería (ilustración 26) es un dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica en forma química. Para la elección de las baterías existen 2 posibilidades: las baterías de Ni-Cd y las baterías antiguamente utilizadas de Pb.



ILUSTRACIÓN 26, BATERÍAS

Las baterías recargables emplean un cátodo de hidróxido de Níquel y un ánodo metálico o de hidrógeno. Poseen un electrodo positivo (Cátodo) y un electrodo negativo (ánodo). Para el proceso de descarga, el hidróxido de níquel se reduce y el cadmio se oxida, para la carga se produce la reacción en sentido inverso.

Este tipo de baterías es adecuado para centrales pequeñas y en subestaciones que no dispongan de mantenimiento permanente. Su resistencia interna es muy inferior al resto de baterías y los tiempos de carga son menores que el resto de baterías.

Antiguamente la mayoría de baterías que se instalaban eran las de plomo, por su precio y durabilidad. Actualmente predominan las Níquel-Cadmio, debido a su menor mantenimiento y descargas más profundas, por lo tanto, asumiendo un coste por adquisición más elevado, **se opta por:** BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO.

2.2.5 Esquemas de conexión, configuraciones AT y BT.

Objeto: Seleccionar las configuraciones más adecuadas para la subestación tanto en la aparamenta de alta tensión, como en la aparamenta de baja tensión, para ello, se van a destacar las ventajas e inconvenientes de cada configuración, y así poder adoptar la decisión adecuada.

Existen diferentes configuraciones posibles a utilizar en la subestación. Dependiendo del nivel de tensión las configuraciones más utilizadas son las recogidas en la tabla 7

TABLA 7, ESQUEMAS DE CONEXIÓN

AT	MT
Simple barra	Simple barra/Simple barra partida
Doble barra	Doble barra
Simple barra con by-pass	
Interruptor y medio	
Anillo	

Se barajan 2 posibilidades tanto en AT como en BT: la configuración en simple barra o la configuración de doble barra, vamos a valorar las 2 posibilidades

Simple Barra: Todos los circuitos están conectados a una única barra (ilustración 27), y destaca por ser la configuración más sencilla y económica, en la tabla 8 quedan reflejadas sus ventajas e inconvenientes.

TABLA 8, VENTAJAS Y DESVENTAJAS SIMPLE BARRA

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Coste bajo	Fallo en barras supone parada de la subestación
Explotación Sencilla	Difícil mantenimiento
	La barra no puede ser mantenida sin desenergización.

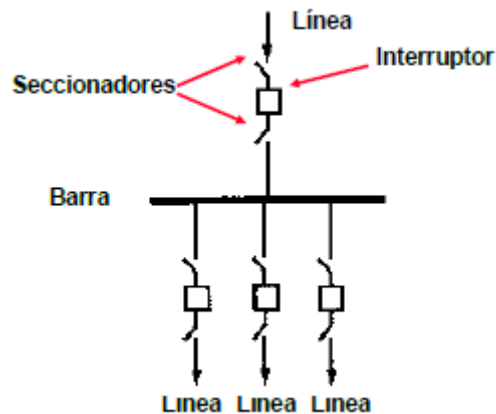


ILUSTRACIÓN 27, SIMPLE BARRA

Doble barra: Consta de dos barras, de forma que cada línea o transformador puede conectarse a una de las dos. La unión entre barras se realiza mediante un interruptor de acoplamiento (ilustración 28), si existe un fallo en el interruptor de acoplamiento se pierde toda la subestación. Existe la posibilidad de trabajar con enlace cerrado o abierto. En caso de avería en una barra se puede trabajar con la otra, garantizando así

el servicio. Es una de las configuraciones más empleadas para garantizar la seguridad y continuidad del servicio,

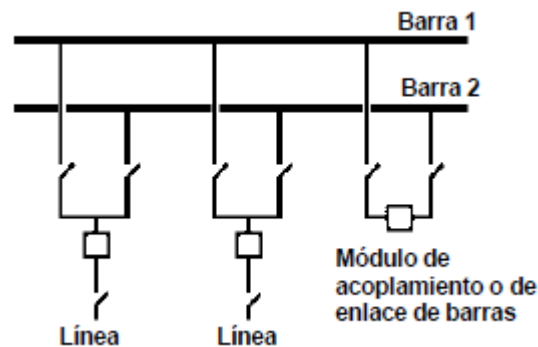


ILUSTRACIÓN 28, DOBLE BARRA

La subestación a diseñar es una subestación con elevados requerimientos de continuidad de servicio, es por eso que **se opta por** EL USO DE LA CONFIGURACIÓN DOBLE BARRA PARA LA PARTE DE ALTA COMO PARA LA PARTE DE BAJA TENSIÓN.

2.3. Protecciones y puesta a tierra

Los objetivos de este apartado son los siguientes:

- 1.- Hacer mención de forma esquemática a las protecciones presentes en una subestación transformadora en caso de funcionamiento anómalo, para ello como ya se ha hecho anteriormente se va estructurar la subestación en 3 partes, para así comentar las protecciones necesarias.
- 2.- Distinguir de forma breve las principales funciones en caso de falta (funciones ANSI) y la coordinación entre estas para conseguir un correcto funcionamiento.
- 3.- Hacer referencia a la puesta a tierra de la subestación y las protecciones en caso de sobreintensidad tipo rayo de origen atmosférico.

De forma general podríamos decir que las causas principales de un posible incidente en la subestación eléctrica podrían ser causa de:

- **Sobretensiones:** Variaciones Lentas o rápidas de la tensión de alimentación del transformador por causas internas o externas
- **Sobreintensidades:** Fundamentalmente variaciones transitorias o permanentes de la impedancia de la carga por le devanado de BT.

2.3.1. Protecciones por el lado de AT.

Una de sus misiones es la protección de la subestación de las sobretensiones o sobreintensidades desde el lado de AT.

- Protección por Cortocircuitos fusibles: Cortacircuitos convencionales y del tipo de expulsión para subestaciones de exterior
- Protección por interruptor automático, se pueden clasificar en:
 - Directos: Montados sobre el propio Interruptor automático
 - Indirectos: también conocidos secundarios por ir conexonados en el secundario de transformadores de intensidad, o más en general, a transductores de la magnitud a vigilar.
- Protección por sobretensiones: En general, todo incremento de la tensión nominal capaz de poner en peligro la aparamenta eléctrica. Se pueden dividir según su origen en:
 - Sobretensiones internas a frecuencia industrial, debidas a las variaciones bruscas de las carga, conexiones y desconexiones de línea
 - Onda impulso o rayo de origen fundamentalmente atmosférico

La protección contra las sobretensiones se consigue mediante la instalación de Pararrayos, que posteriormente en el apartado 2.3.5 se verá en profundidad.

2.3.2. Protecciones situadas en el Propio Transformador

La parte más costosa de una subestación eléctrica, además de ser la más cara y complicada de reparar es el transformador. Es por ello que además de las protecciones de AT y BT existen una serie de protecciones internas, sobre las cuales no vamos a profundizar.

Las protecciones situadas sobre el propio transformador pretenden detectar los defectos internos en los elementos constitutivos de la propia máquina, en la fase de inicio o incluso antes de que puedan ocurrir, tales como: calentamientos en el fluido refrigerante, pérdidas de rigidez dieléctrica en los aislamientos pequeñas fugas etc.

2.3.3. Protecciones de media tensión:

En el apartado 2.2.3 se ha elegido como aparamenta de media tensión unas celdas prefabricadas dispuestas en módulos, respecto su protección cabe destacar que el módulo de la acometida se compone por los elementos siguientes:

- **Unidad de acometida y seccionamiento:** formado por la acometida superior, donde se conectan los conductores de media tensión procedentes del transformador.
- **Unidad de control:** Compuesto por los elementos de medida y control normalizado.
- **Unidad de distribución:** Por donde alimentará la red de salida de la subestación transformadora.

2.3.4. Funciones ANSI

Un tipo de funcionamiento anómalo sería falta en la subestación, es imprescindible saber en cada caso cual de todas las protecciones sería la encargada de actuar, las principales funciones ANSI son las siguientes:

- 21 protección de distancia
- 50 sobreintensidad instantánea
- 51 sobreintensidad de tiempo diferido
- 52 interruptor automático
- 67 protección de sobreintensidad direccional
- 87 protección diferencial
- 59 protección de sobretensión (cuando en alguna fase la tensión supera el valor ajustado)

2.3.4.1 Función de protección diferencial 87:

- Opera ante faltas internas ya que $I_d = I_1 - I_2$
- Compara las corrientes de entrada y salida al elemento protegido, actuando para una determinada diferencia entre ellos
- Entre sus limitaciones se encuentra la posible saturación de los transformadores de intensidad ante faltas externas. No opera ante faltas externas ($I_1 = I_2 - I_d = 0$)

2.3.4.2. Función de distancia 21:

- Las zonas de protección primaria (1) deben solaparse alrededor de interruptores comunes para evitar zonas ciegas (sin protecciones) del sistema.
- Consiste en 3 unidades de distancia con alcances crecientes, siendo la primera unidad instantánea y las otras dos temporizadas. Como no se pueden ajustar para cubrir el 100% de la línea, para lograrlo se escalona por zonas.
- La zona 1 debe ser tal que no actúe ante faltas de las líneas adyacentes. Se ajusta entre el 85% y el 95% de la impedancia de línea.
- Es la función de protección principal en líneas de transporte
- Solo algunas de las características de operación son direccionales.
- Si la impedancia medida cae dentro de la zona de operación, la protección se activa

2.3.4.3. La función de protección de sobreintensidad direccional 67:

- Requiere lecturas procedentes de un transformador de intensidad y de un transformador de tensión
- Utiliza como magnitud la polarización (de referencia), una magnitud que no se anula ante situaciones de falta; que no varía significativamente su argumento si cambia el sentido de circulación de la corriente.
- Actúa cuando la intensidad supera el valor ajustado y circula en el sentido definido de operación
- Aplicaciones: Líneas de distribución.

2.3.4.4. Ajuste de Protecciones

- Función 50/51: Sobre corriente instantánea y temporizada. Ante una sobretensión actúa de forma instantánea la función 50 y pasado un tiempo previamente calculado actúa también la función temporizada 51
- Función 87: Protección diferencial, esta protección actúa si hay una diferencia entre corrientes entre 2 puntos donde está colocada dicha protección, su coordinación es importante ya que no siempre que haya una diferencia de corriente debe actuar debe saber discernir las diferencias que son debidas a la saturación de los transformadores de corriente.

2.3.4.5. Coordinación de Relés:

La coordinación de cada uno de los relés es imprescindible, ya que en caso de falta son capaces de aislar parte del circuito, haciendo que el resto no se vea afectado. Su coordinación se hace por medio del retardo en el tiempo, es decir, dependiendo de la duración de la falta, operarán y harán disparar su interruptor. Su coordinación debe hacer que los relés de aguas arriba no actúen antes que los de aguas abajo, es decir que no actúen los relés más cercanos a la fuente, pudiendo así evitar el aislamiento de la parte más pequeña posible del circuito.

Otro posible método de coordinación de los Relés sería una configuración donde solo actúen los relés más cercanos a la falta, y por lo tanto sería necesario la existencia de una impedancia apreciable entre los relés consecutivos con corrientes iguales.

Un tercer método de coordinación es la combinación de los dos anteriores, donde el tiempo de operación es inversamente proporcional al nivel de corriente de falta.

2.3.5. Pararrayos

Objeto: seleccionar el tipo de pararrayos necesario para la subestación transformadora.

La función principal de este equipo es proteger la instalación eléctrica (transformador, interruptor, etc.) contra sobretensiones tanto de origen externo (provocadas por fenómenos atmosféricos, denominadas onda de impulso tipo rayo) como interno (onda a frecuencia industrial debidas a maniobras dentro de la misma instalación), absorbiendo parte de su energía para mantener los valores de tensión dentro de los límites adecuados.

Los pararrayos suelen ser diseñados para una intensidad de descarga entre 5kA y 10kA, los pararrayos se disponen en paralelo con el componente a proteger, generalmente entre fase y tierra, conectados lo más cerca posible del objeto a proteger.

Para el control de los pararrayos se utilizarán espinterómetros de reproducción, los cuales son instalados en el conductor de puesta a tierra.

Existen diferentes tecnologías que pueden ser usados como descargadores de tensión

- De cuernos
- Autovalvulares de resistencia variable: SiC (Nomenclatura anglo-sajona)
- Autovalvulares de Óxido de Zinc: MOV (Nomenclatura anglo-sajona)

2.3.5.1. Pararrayos de cuernos:

Consiste en 2 varillas conectadas, una al conductor y otra conectada a tierra, para proteger la instalación de sobretensiones. Las varillas están colocadas de tal forma que en el momento que aparece el arco resultado de una sobretensión, alargan dicho arco hasta conseguir su extinción. Los pararrayos de cuernos actualmente están en desuso, siendo la tendencia actual el uso de los pararrayos autovalvulares.

Pararrayos autovalvulares: Con el objetivo de abarcarlos de la forma más clara posible, se van a mencionar sus características, ventajas y desventajas individualmente, para posteriormente poder recoger en la [tabla 9](#) las características generales de comparación entre ambos tipos.

Estabilidad de las características de protección a lo largo del tiempo	Menor	Menor
Resistencia a las sobretensiones temporales	Mayor	Menor
Aumento de la tensión residual con la pendiente del frente de onda	Mayor	Menor
Riesgo de fallos en la energización del sistema	Nula	Alta
Características de descarga repetitiva y múltiple	Buenas	Mejores

Descartando el uso de los pararrayos de cuernos, la tenencia actual es la utilización de los descargadores de tensión con la TECNOLOGÍA DE OXIDO METÁLICO SIN EXPLOSORES, dadas sus ventajas frente a su competidora **se opta por** el uso de dicha tecnología.

2.3.6. Terminales Aéreas de Captación

Su función principal es atraer los rayos procedentes de fenómenos meteorológicos, y dirigir toda la intensidad captada hacia tierra, evitando así la destrucción de toda la subestación

Puntas Franklin: Es el tipo de pararrayos más común y más conocido. No existe normativa que no lo contemple (ilustración 31)



ILUSTRACIÓN 31, PUNTAS FRANKLIN

Puntas de Cebado (PDC, Early Streamer o ESE): Este tipo de pararrayos solo ha sido demostrado en laboratorio, no en campo. Ofrecen una zona de protección muy superior a las puntas Franklin. Disponen de una normativa específica UNE 21.186:1996, por lo que su empleo es legalmente posible, pero no existe ninguna normativa internacional que permita su uso, y la mención que se hace es que en caso de utilizarse se debieren calcular como puntas franklin, por lo que pierden su ventaja al ser más caros. (ilustración 32)



ILUSTRACIÓN 32, PUNTAS DE CEBADO

Supresores de Sobretensiones: Los fabricantes ofrecen diferentes posibilidades, pero no han sido homologados por ninguna normativa de protección contra el rayo (ilustración 33)



ILUSTRACIÓN 33, SUPRESORES DE SOBRETENSIÓN

Se opta por el uso de la opción más común, PUNTAS FRANKLIN

2.4 Elementos no Eléctricos

Se entiende que para la construcción de la subestación existe un elevado número de elementos de construcción, los cuales no pueden considerarse parte de la aparamenta eléctrica, pero sí proporcionan un soporte adecuado, así como protección. Es por eso que se van a considerar los elementos delimitadores de la subestación transformadora con el entorno, así como los de soporte de la aparamenta

Por Elementos Delimitadores se entienden como elementos delimitadores rejas, postes, techos y por elementos de soporte a los tabiques de separación de funciones de las celdas, y las propias celdas en sí.

Las condiciones ambientales modifican y condicionan los criterios de elección de las características específicas de los elementos de la construcción, así como el remolque en sí de la subestación necesario para soportar de forma estable en el tiempo y con un mínimo de incidencias, los efectos de dichas condiciones pueden ser los siguientes:

- Humedad o riesgo de inundación
- Ambiente corrosivo
- Riesgo de incendio o explosión
- Presencia de hidrocarburos
- Presencia de roedores y otros animales de pequeño tamaño
- Riesgo de golpes en el transporte
- Vibraciones y esfuerzos mecánicos en el transporte
- Velocidad máxima de los vientos, durante el transporte, así como también en su posición de funcionamiento.
- Radiación solar, acción del ozono.

Todos estos parámetros son posibles, debido a la variante ubicación de la subestación, debiéndose suponer las condiciones más desfavorables, con el objetivo garantizar la seguridad.

2.4.1 Hexafluoruro de Azufre (SF6)

El elemento clave de la tecnología elegida es el SF6, ya que toda la aparatamenta irá encapsulada en este gas. Dada su importancia, cabe destacar algunas de sus características:

- Gas Inerte, no tóxico ni inflamable.
- Buena estabilidad química y térmica. Al exponerlo a las elevadas temperaturas que se producen en los arcos eléctricos, se descompone y da lugar a productos tóxicos muy corrosivos.
- Rigidez dieléctrica, muy superior a la del aire a presión atmosférica.
- Excelente aislante térmico, por ello es un buen extintor del arco eléctrico, capaz de apagar el arco unas 150 veces más rápido que el aire.

Las presiones necesarias, en el cual se encuentra el gas SF6, hacen inviable su transporte sin un trabajo de vaciado parcial del mismo, ya que la presión de transporte marcada por la directiva europea 97/23/EC ha de ser inferior a 0.5 bar. Es por ello que se hace necesario disponer de un equipo de vaciado del gas SF6, como se puede ver en la ilustración 34.



ILUSTRACIÓN 34, EQUIPO SF6

2.5 Subestación móvil:

Los apartados 2.1 y 2.2 se han destinado a la selección de todo el equipo necesario y más adecuado para la subestación móvil, ahora se va a presentar su formato final, así como su disposición. Para ello:

- 1.- Se van a destacar las características que hacen tan interesante este tipo de subestaciones.
- 2.- Se va a presentar el diseño de la subestación, así como alguno de sus componentes, así como las comprobaciones y pruebas a realizar.
- 3.- Uno de los puntos críticos es el transporte de la subestación, por lo tanto, se le dedicará un apartado en exclusiva.

2.5.1 Características Subestación móvil

Las características más relevantes de una subestación móvil son las siguientes:

- Suministro temporal durante periodos de trabajo de ingeniería en la subestación principal, actualización o mantenimiento planificado de la misma.
- Asegurar la continuidad del servicio ante emergencias como fuegos, sabotaje, apagones o eventos meteorológicos.
- Suministro temporal para cargas estacionales: eventos, o consumo adicional en vecindarios, plantas industriales o lugares remotos.
- Opción de proporcionar una instalación permanente o semi-permanente, dependiendo de cada situación.

2.5.2 Partes de la subestación Móvil

La subestación constará de una celda de llegada, una celda de salida y una intermedia, para conseguir que el transformador no esté a la intemperie, ya que así lo requieren los transformadores en vacío. La disposición de los diferentes equipos será,

empezando por el patín de deslizamiento: Aparata de AT, transformador de potencia, aparata de BT, Se puede ver en la ilustración 35.

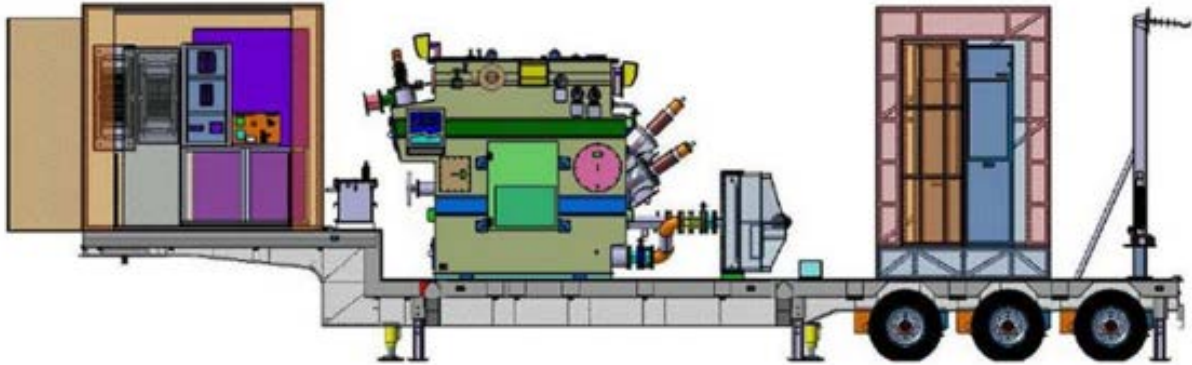


ILUSTRACIÓN 35, SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA MÓVIL

Se va a dividir la subestación en tres módulos diferenciados y que irán dispuestos en el semirremolque elegido. Los diferentes equipos necesarios, así como sus características se detallan a continuación:

Aparata de Alta Tensión:

- Seccionador de Barra 123kV.
- Fusibles 115KV.
- Pararrayos 84 KV.

Transformador de Potencia: 40MVA 66/16KV, con resistencia de puesta a tierra 16KV (Línea – Línea).

Aparata de baja tensión 16Kv

- Celda de Llegada.
- Celdas de Salida.

La celda de entrada que comprende parte de los elementos delimitadores será de tipo Metal Enclosed para exterior con dimensiones de 2600 mm de alto 1300 mm de ancho y 1800 mm de largo. La celda estará protegida contra disipación de los arcos que se pudieran producir en caso de cortocircuitos con protecciones en ambos lados. La celda de entrada dispondrá de todos los equipos auxiliares necesarios como iluminación interior y calefacción, alimentados con la batería en corriente continua, además de:

- Pararrayos Óxido de Zinc.
- Transformadores de tensión.
- Voltímetro.
- Transformadores de tensión para control.
- Transformadores de corriente.
- Unidad de protección multifunción con las siguientes funciones:
 - Función 50: Sobrecorriente instantánea.
 - Función 51: Sobrecorriente temporizado
- Equipo Calefacción.
- Equipo Iluminación.

Las celdas de salida van a ser tipo Metal Enclosed para uso exterior con dimensiones 2600 mm de alto 1300 mm de ancho y 1800 mm de largo. Las celdas van a estar protegida contra disipación de arcos que se pudieran producir en caso de cortocircuitos con protecciones en ambos lados.

- Interruptores trifásicos en Vacío
- Conmutadores de mando
- Portalámparas
- Transformadores de corriente
- Medidores de energía
- Unidades de protección multifunción con las siguientes funciones:
 - Función 50: Sobrecorriente instantánea
 - Función 51: Sobrecorriente temporizado.

- Función 46: Sobrecorriente negativa.
- Función 79: Recloser.
- Función 67: Direccional.
- Equipo de iluminación
- Equipo de calefacción

2.5.3 Comprobaciones y Pruebas

Una vez colocado el remolque en el lugar de funcionamiento, deberá de hacerse una comprobación exhaustiva, para verificar que ningún elemento de la subestación ha sido dañado durante el transporte o presente algún golpe, rotura, deformaciones u otros defectos, y en caso de ser así, deberá de comunicarse al ingeniero responsable.

Una vez comprobado el estado de la subestación, deberá verificarse que el remolque está perfectamente nivelado, Para ello se cuenta con el dispositivo electrónico con cualidad de autonivelación que dispone el remolque.

Se debe verificar el correcto anclaje del remolque, comprobando que todos los pernos estén colocados correctamente, así como también el correcto funcionamiento de las puertas.

2.5.4 Transporte

La subestación va a ser transportada para su inmediato uso y la disposición de los elementos no variará.

Para su transporte será necesario la contratación de una empresa de transportes que disponga de un camión de 2 o tres ejes, con capacidad para remolcar el semirremolque de la subestación.

2.5.4.1 Reglamentación sobre Vehículos pesados y Remolques:

En el Anexo II del Reglamento General de Vehículos, se define, el remolque como un vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser remolcado por un vehículo a motor.

Masas Máximas Permitidas:

- Eje Tándem Triaxial: Si la distancia es superior a 1,30 metros e inferior o igual a 1,40 metros: 24 Toneladas
- Vehículo a motor con 3 ejes y con semirremolque 2 o 3 ejes: 40 Toneladas
- Vehículo a motor con 2 ejes y con semirremolque 3 ejes: 40 Toneladas

Longitudes Máximas Permitidas: Vehículos articulados, excepto autobuses articulados: 16,50 metros.

Anchura máxima, incluida carga: Anchura máxima autorizada: 2.55 metros.

Altura máxima, incluida carga: Altura máxima para portavehículos 4.50 metros.

LA SUBESTACIÓN MÓVIL ESTARÁ DISPUESTA SOBRE UN REMOLQUE CON LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS:

- VEHÍCULO A MOTOR CON 2 EJES Y CON SEMIRREMOLQUE 3 EJES: 40 TONELADAS
- LONGITUDES MÁXIMA: 16,5M
- ANCHURA MÁXIMA, INCLUIDA CARGA:2.55M
- ALTURA MÁXIMA:4.5M

2.6. Cálculos

A continuación, iniciamos el proceso de cálculo de cada uno de los elementos del centro de Transformación descritos.

Se calculan previamente las corrientes nominales en el Primario y Secundario del Transformador en régimen permanente, y los transitorios de conexión y cortocircuito. Los cálculos de las secciones mínimas, así como las intensidades de falta, tanto en el lado de AT como en el de BT, dependen de las respectivas configuraciones aguas abajo y aguas arriba. El cliente va a solicitar una subestación con unas características que se adapten a sus necesidades, la forma de cálculo es exactamente la misma que las subestaciones fijas, por lo que las realizaciones de los cálculos para las intensidades de falta y secciones mínimas correspondientes no se van a llevar a cabo.

A pesar de obviar el cálculo de las intensidades de falta y las secciones mínimas de los cables que van de la subestación a los diferentes puntos de enganche de red, los cálculos de los siguientes parámetros sí que son interés de estudio.

- Intensidad nominal que circulará por la subestación móvil con el objetivo de poder seleccionar los cables adecuados.
- Distancias dieléctricas, necesaria para la seguridad de la subestación
- Sección del cable de puesta a tierra

Consideramos como régimen permanente máximo el valor de la potencia nominal que el transformador puede suministrar en las condiciones de servicio especificadas por las normas, además de considerar un 20% más por motivos de seguridad. El proceso de cálculo de las corrientes nominales es el mismo en alta que en baja.

2.6.1. Calculo de la Intensidad en AT

La intensidad nominal en AT se obtiene fácilmente de la expresión general de la potencia $S_N := 1,2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I$ para corriente trifásica. Tomando la potencia en KVA y la tensión en KV se podría obtener

$$I := 1,2 \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

Datos: $U_N := 66 \text{ KV}$; $S_N := 40 \text{ MVA}$

$$I_{max} := 1,2 \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} := 1,2 \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 66} := 419,8910 \text{ A}$$

2.6.2. Cálculo de la Intensidad en BT

Igualmente, la intensidad nominal en BT $S_N := 1,2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I$ para corriente trifásica.

$$\text{Datos } U_N := 16 \text{ KV}; S_N := 40 \text{ MVA}$$

$$I_{max} := 1,2 \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} := 1,2 \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 16} := 1443,8910 \text{ A}$$

2.6.3. Cálculo de las Corrientes en régimen Transitorio

Dos regímenes transitorios nos interesan de forma especial: el transitorio de conexión y el régimen de cortocircuito, al que consideraremos transitorio, ya que su tiempo de permanencia está limitado por la actuación de las protecciones.

2.6.3.1. Cálculo corriente de Conexión de AT.

En el instante de conexión a red, un transformador se comporta como una bobina de inducción, con un circuito magnético de alta permeabilidad. Como en todo circuito magnético el flujo sinodal, estará en fase con la corriente que lo produce y en $\frac{\pi}{2}$ con respecto la tensión aplicada a la bobina. El caso más desfavorable se producirá en el instante en que la tensión pasa por cero, a la que corresponde el flujo máximo. La inducción en el instante inicial B_r . Para el instante $t = \frac{\pi}{\omega}$, la ecuación puede escribirse como:

$$B_{max} = 2 \frac{\sqrt{2} \cdot V}{N \cdot S} + B_r = 2 \cdot B_n + B_r$$

Donde:

- B_n es la inducción normal en servicio.
- B_r es la inducción en el instante inicial.

- N es el número de espiras.
- S es la sección del núcleo.

2.6.3.2 Cálculo de la Intensidad de cortocircuito en BT y en AT

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en AT es necesario conocer de forma detallada la configuración de la red aguas arriba del punto de conexión, características de generadores, tipo de configuración etc.

El cálculo de la intensidad de cortocircuito en BT tiene dos finalidades principales: la elección del poder de corte y poder de cierre de los interruptores automáticos de protección, y el cálculo de los esfuerzos electromecánicos que en el caso de un cortocircuito deben soportar embarrados y soportes. Para su cálculo se precisa de información detallada sobre la conexión aguas abajo, es por ello, al igual que en el caso de AT, que solo se indicarán las fórmulas pertinentes.

Fuente:

$$Z_S = 1.1 \frac{U_N^2}{S_{CC}} \quad X_S = 0.995 \cdot Z_S \quad R_S = 0.1 \cdot Z_S$$

Trafo:

$$Z_T = \frac{u_z \cdot U_N^2}{S_N \cdot 100} \quad R_T = \frac{u_R \cdot U_N^2}{S_N \cdot 100} \quad X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)}$$

Cables, líneas y barras:

$$R = \frac{L}{\gamma \cdot S \cdot n} \quad X_C = 0.08 \frac{m\Omega}{m} \quad X_L = 0.33 \frac{m\Omega}{m} \quad X_B = 0.12 \frac{m\Omega}{m}$$

2.6.4. Cálculo de las protecciones de sobreintensidad

Las protecciones de sobreintensidad deberán detectar de forma fiable la aparición de una sobreintensidad, y de acuerdo con los criterios de actuación previstos, actuar y ordenar la actuación de la aparamenta de forma concreta, con el fin de asegurar la protección de:

- Los cables del paso aéreo
- Los transformadores del equipo de medida
- El propio transformador

Es preciso, por lo tanto, en este apartado los cálculos de niveles de actuación de cada una de las protecciones, así como la coordinación de las mismas por AT como por BT y en caso de ser necesario, la selectividad entre las distintas protecciones del mismo nivel de tensión.

- Las protecciones a tiempo dependiente, se entienden aquellas que establecen una relación entre el valor relativo de la sobreintensidad y el tiempo de actuación.
- Las Protecciones a tiempo independiente, se entienden aquellas que por el contrario se produce inmediatamente una vez sobrepasado el umbral de protección establecido.
- La elección de los calibres y las características de los elementos de protección depende de la propia naturaleza de estos elementos, cortacircuitos fusibles, relés directos o indirectos e interruptores automáticos.

2.6.5 Puesta a Tierra

El cálculo de la puesta a tierra en una subestación convencional es linealmente dependiente del tipo de terreno, siendo inversamente proporcional a la facilidad de introducir la pica en el terreno, en una subestación móvil el terreno es variable, además también es dependiente del tipo de conexión aérea, por lo tanto, no es posible calcular la puesta a tierra de la misma forma.

La malla de la puesta a tierra será de cobre debido a sus características eléctricas, ya que si se utilizase Aluminio necesitaríamos una sección múltiples veces mayor, para su cálculo se hará uso de la siguiente expresión para la aparamenta de alta como para la aparamenta de baja.

$$S_{min} = \frac{1000 \cdot I_{cc} \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{(9.64 \cdot \frac{c \cdot g}{P \cdot a} \cdot \log(1 + a \cdot (Tg - Ta)))}}$$

Donde:

- I_{cc} : Corriente de cortocircuito.
- t : Duración de cortocircuito
- c, g, P, a, Tg, Ta : Calor específico, peso específico y resistividad, temperatura final e temperatura final respectivamente del material conductor, en este caso sería cobre.

2.6.6. Distancias Dieléctricas

Las distancias dieléctricas necesarias dependen de la tensión, polución, así como de las características meteorológicas a las cuales va a ser sometido. Cabe destacar que la subestación diseñada tendrá aislamientos en SF6, los cuales necesitan distancias dieléctricas menores que los aislamientos en aire. Las distancias necesarias en la aparamenta de alta y baja varían significativamente debido a la tensión.

3. Análisis de Planificación

Objeto: planificar del proyecto, revisando minuciosamente todas las tareas y fases de este proceso. Conociendo las fechas de inicio del proyecto se va a aproximar la fecha de entrega al cliente. Para su desarrollo se va a utilizar el programa Project.

Dentro de esta planificación se tienen una serie de tareas de duración cero días. Se tratan de hitos que marcan unos logros importantes del proyecto.

La planificación de este proyecto, el cual tiene fecha de inicio el lunes 2 de mayo de 2020, las tareas principales de la implantación son:

3.1. Ingeniería:

Objeto: planificar las horas de trabajo que los ingenieros destinarán al estudio de cada subestación del conjunto a cubrir: nivel de contaminación, fácil acceso, tipo de conexiones aéreas etc. para así posteriormente poder realizar los cálculos y el diseño de planos correspondientes.

Una vez finalizado y validado el diseño de la subestación móvil se procederá al diseño y planificación de propio proceso de fabricación y producción.

Tiempo estimado: La duración total es de 85 días donde entra el tiempo utilizado para planificar el proceso.

3.2. Compra Maquinaria:

Objeto: Dentro de este paquete de trabajo se incluyen las horas destinadas a buscar los mejores proveedores de los equipos necesarios, con el fin de hallar aquellos componentes que más se asemeje a las necesidades y presupuesto del proyecto. A parte de esto, se añade el tiempo necesario para la fabricación de los equipos por el proveedor, el transporte hasta la empresa, la instalación y las consiguientes pruebas para comprobar su calidad antes de ser dispuesta sobre el semirremolque correspondiente.

Tiempo estimado: Esta tarea tiene una duración de 25 días y procede de la anterior. Su fecha de inicio será el 29/08/2020 y su fecha final el 02/10/2020, con una duración total de 25 días.

3.3. Trabajos previos:

Objeto: Durante los trabajos previos se realizará la construcción mecánica sobre el remolque, para la posterior instalación de la apartamenta, una vez todo el equipo esté

comprado. Para el comienzo de la construcción mecánica es imprescindible realizar previamente el pedido del equipo necesario que permita conocer las necesidades del semirremolque.

Tiempo estimado: En total se necesitarán 21 días para la realización de la construcción incluyendo su respectiva homologación.

Una vez la construcción mecánica finalice, y la maquinaria haya sido recibida, se procederá a la instalación de la aparamenta, para lo cual se necesitarán 7 días.

En total los trabajos previos tendrán una duración de 28 días desde la fecha de inicio prevista del 12/09/2020 hasta el 19/10/2020.

3.4. Pruebas:

Objeto: Las pruebas tendrán dos fases, la primera será la correspondiente a las pruebas individuales de las 3 partes principales: Aparamenta de alta tensión, transformador y aparamenta de media tensión, se comprobará el correcto funcionamiento e instalación de cada uno por separado.

Después de realizar las pruebas individuales de cada parte, se realizarán las pruebas de la subestación en conjunto, en las cuales se tratará de instruir a los operarios, estos mismos serán los que posteriormente se encargarán de su mantenimiento, es por ello que se adjuntará un presupuesto del mantenimiento.

Tiempo estimado: esta fase tendrá una duración de 4 días.

3.5. Pedido para instalación:

Objeto: Una vez terminada la fase de la ingeniería y esté pedido el equipo correspondiente, se realizará el pedido necesario para la puesta en servicio en la misma ubicación donde se va a sustituir la subestación fija, es decir: Conexiones de alta y baja tensión, equipo de presión de SF6 y la maquinaria necesaria para mantenimiento de la subestación.

Tiempo estimado: Esta fase tiene una duración prevista de 17 días entre el 03/10/2020 y el 20/10/2020.

3.6. Homologación de la subestación:

Objeto: Se marcará como un hito el momento en el que la subestación funcione correctamente, es decir, el momento en el que este toda la aparamenta este instalada y lista para su uso, es necesario también que se haya recibido el material necesario para su instalación y mantenimiento.

Tiempo estimado: La fecha límite es 02/11/2020. Tiempo que deberá respetarse para poder llevar a cabo el proyecto dentro de los plazos establecidos.

3.7. Listado de tareas y paquetes de trabajo del proyecto:

En la siguiente página (ilustración 36), se podrá encontrar el listado de todas las tareas y paquetes de trabajo que conforman la planificación de la implantación del proyecto.

EDT	Texto	Nombre de tarea	Duración
0		Planificación	115 días
1	P.T.1	Ingeniería	20 días
1.1	T.1.1	Diseño de la subestación	5 días
1.2	T.1.2	Diseño de proceso	5 días
1.3	T.1.3	Diseño de equipo necesario	5 días
1.4	T.1.4	Diseño del semiremolque	5 días
2	P.T.2	Contrataciones y compras	85 días
2.1	P.T.2.1	Aparamenta de AT	85 días
2.1.1	T.2.1.1	Gestión proveedores y ofertas	10 días
2.1.2	H.1	Pedido de todo el equipo	0 días
2.1.3	T.2.1.2	Fabricación	15 sem.
2.2	P.T.2.2	Transformador	70 días
2.2.1	T.2.2.1	Gestión proveedores y ofertas	10 días
2.2.2	H.2	Pedido del transformador	0 días
2.2.3	T.2.2.2	Fabricación	12 sem.
2.3	P.T.2.3	Aparamenta de MT	60 días
2.3.1	T.2.3.1	Gestión proveedores y ofertas	10 días
2.3.2	H.3	Pedido de las celdas	0 días
2.3.3	T.2.3.2	Fabricación	10 sem.
2.4	P.T.2.4	Cableado	60 días
2.4.1	T.2.4.1	Gestión proveedores y ofertas	10 días
2.4.2	H.4	Pedido de todo el cableado	0 días
2.4.3	T.2.4.2	Fabricación	10 sem.
3	P.T.3	Trabajos previos	39 días
3.1	T.3.1	Mecánica en el semiremolque	20 días
3.2	P.T.3.2	Instalación de maquinaria	19 días
3.2.1	T.3.2.1	Aparamenta de AT	5 días
3.2.2	T.3.2.2	Transformador	5 días
3.2.3	T.3.2.3	Aparamenta de MT	5 días
3.2.4	T.3.2.4	Cableado	5 días
4	P.T.4	Primeras pruebas y homologación	15 días
4.1	P.T.4.1	Pruebas individuales del equipo	10 días
4.1.1	T.4.1.1	Prueba operación: AT	2 días
4.1.2	T.4.1.2	Prueba operación: Transformador	2 días
4.1.3	T.4.1.3	Prueba operación: BT	2 días
4.1.4	T.4.1.4	Prueba operación: Cableado	2 días
4.1.5	T.4.1.5	Prueba operación: Control	2 días
4.1.6	H.6	Homologación del conjunto	0 días
4.2	P.T.4.2	Pruebas la Subestación	5 días
4.2.1	T.4.2	Pruebas del conjunto	5 días
4.2.2	H.7	Homologación del conjunto	0 días

En la ilustración 37, se puede ver un diagrama de Gantt resumido en el cual se han omitido la mayor parte de las tareas y se han conservado únicamente los paquetes de trabajo.

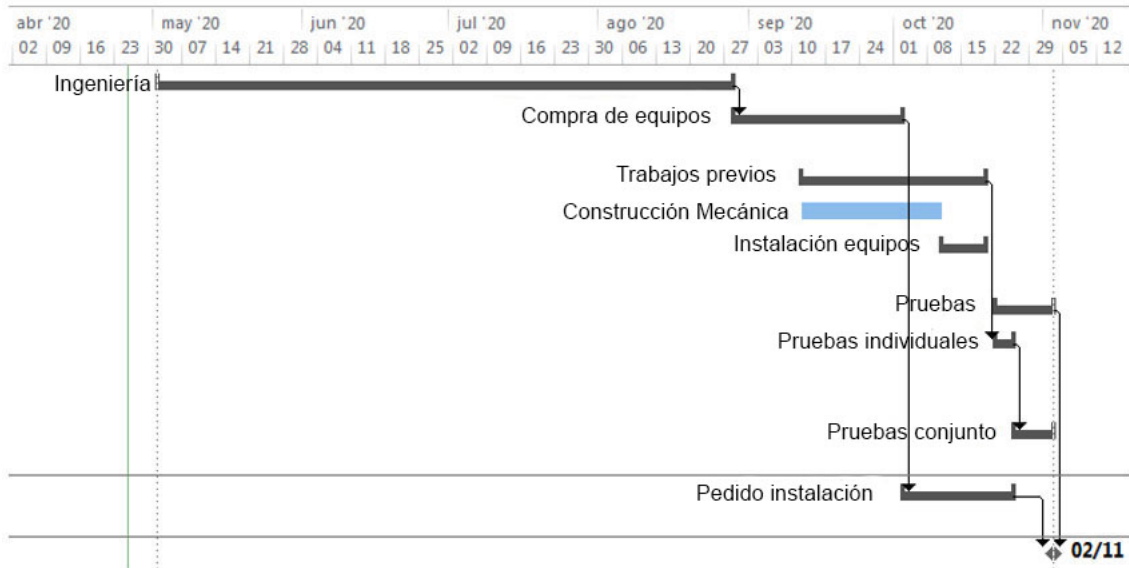


ILUSTRACIÓN 37, DIAGRAMA GANTT 1

En el diagrama Gantt resumido (ilustración 37) se puede apreciar visualmente como el paquete de ingeniería es el de mayor duración, la cual supera el, ya que ocupa 85 de los 133 días totales en los que se ha planificado el desarrollo del proceso.

Se adjunta el diagrama Gantt (ilustración 38) completo para poder hacer un seguimiento de todas las tareas con exactitud.

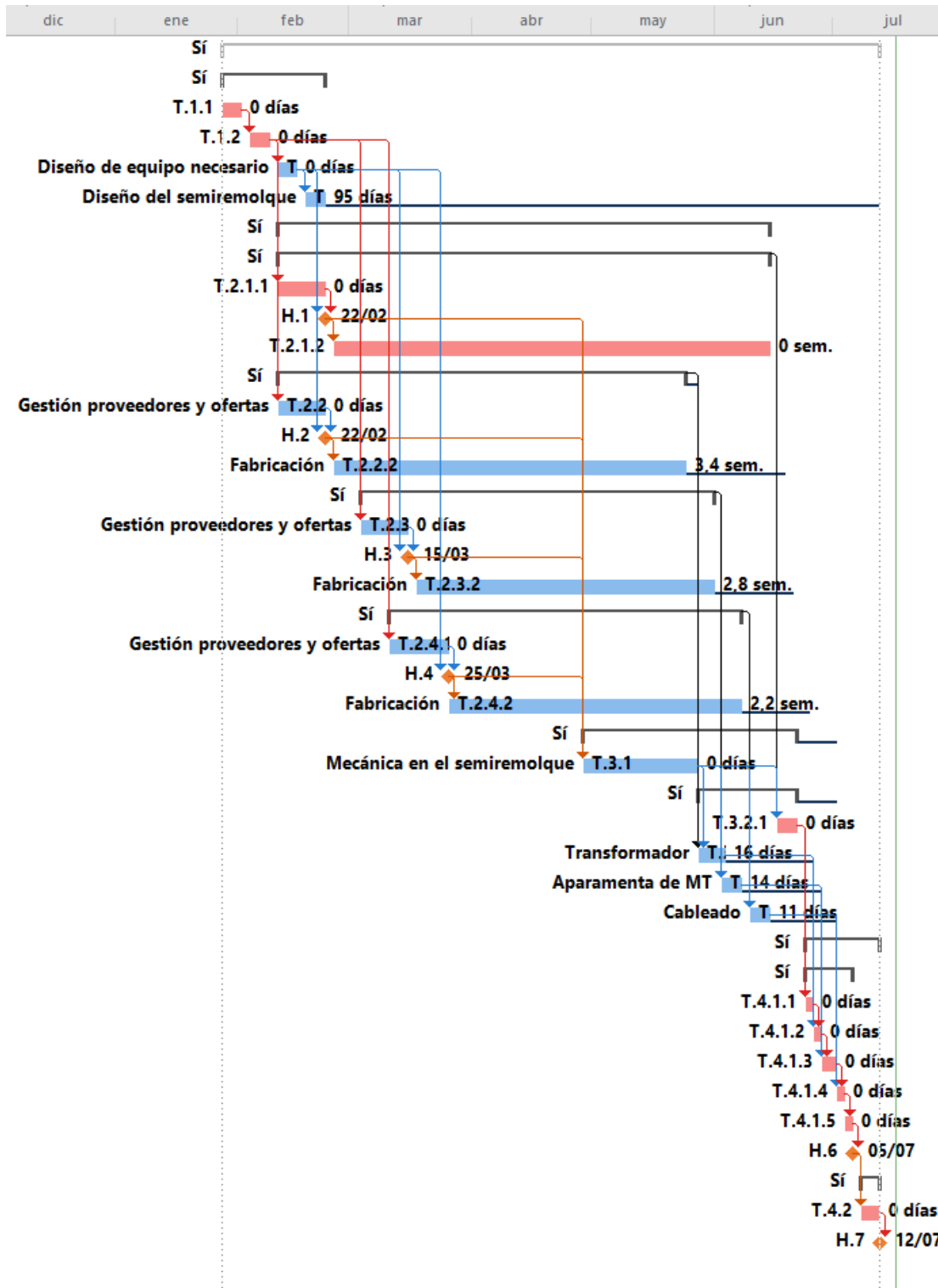


ILUSTRACIÓN 38, DIAGRAMA GANTT 2

Se conocen como tareas críticas, aquellas cuyos retrasos produzcan directamente retrasos en la fecha de finalización del proyecto, ya que son sucesoras de otras. Estas tareas críticas forman a su vez el camino crítico, que es la sucesión de tareas con la duración más larga posible, es decir, imponen la duración mínima del proyecto.

Dividiremos el análisis de las tareas críticas su análisis por los distintos paquetes de trabajo del proyecto como se puede ver en la ilustración 39.

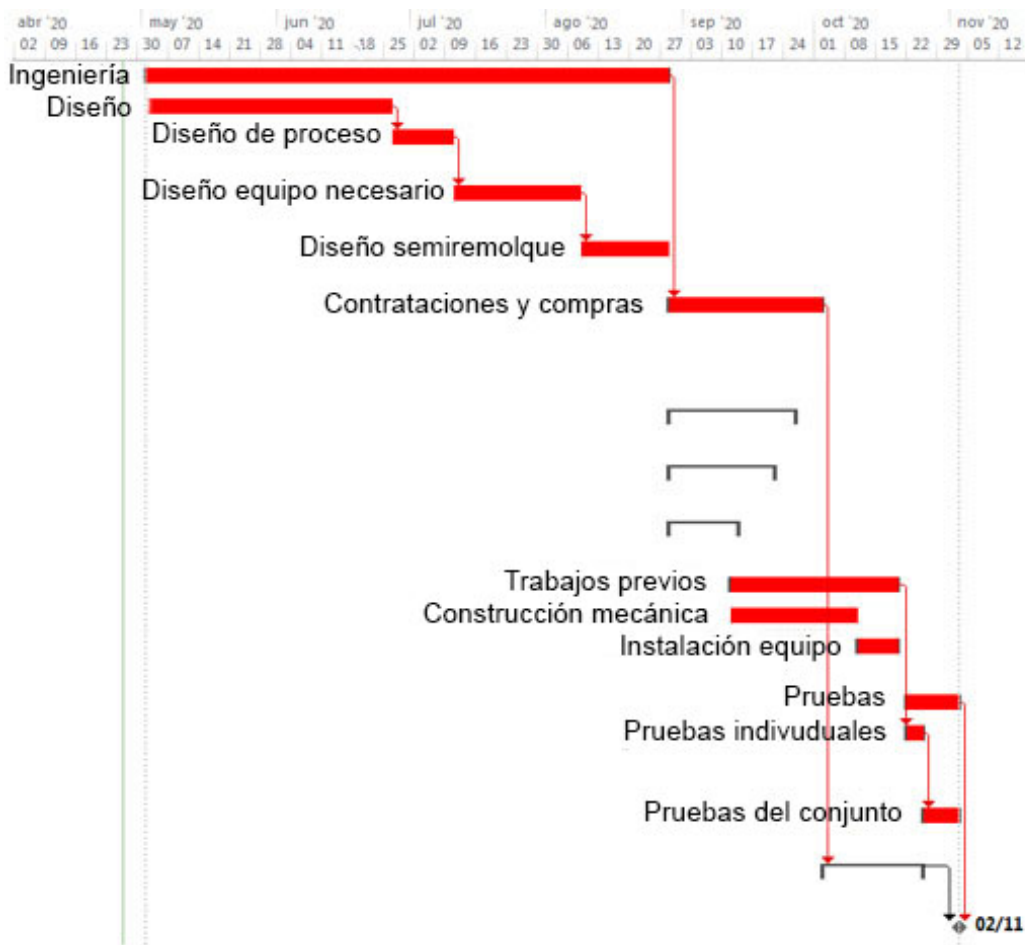


ILUSTRACIÓN 39, DIAGRAMA GANTT 3

En cuanto al paquete de ingeniería se puede apreciar como las cuatro tareas a realizar dentro de este paquete son tareas críticas, ya que todas son predecesoras de las siguientes y no hay caminos alternativos, es decir, hasta que cada una de estas tareas no está finalizada no se puede proceder a la siguiente.

En el paquete de trabajos previos, tanto la tarea de construcción mecánica como la de instalación de la maquinaria son tareas críticas, ya que la construcción mecánica es predecesora de la instalación del equipo.

El último paquete con tareas críticas es el paquete de pruebas. En este paquete al igual que en el de ingeniería y en el de trabajos previos, las dos tareas que lo forman son predecesoras la una de la otra, lo que provoca que sea necesario el cumplimiento de ambas para el comienzo de la siguiente fase o paquete de trabajo.

Por otro lado, cabe destacar que el paquete de trabajo de la compra de equipo es el único en este proyecto el cual no es crítico, esto es debido a que su inicio se produce al igual que el de la compra de maquinaria.

3.8. Posibles mejoras:

Para reducir la duración del proyecto, la única forma es la optimización de las tareas críticas. Habitualmente, reducir las tareas críticas suele ser más fácil en tareas de mayor duración, ya que el margen de trabajo es mayor para repartir de otra forma la carga de trabajo a realizar. Por tanto, se considera que el punto crítico a optimizar el proceso y la planificación presentes en la fase de ingeniería.

La fase de ingeniería es la de mayor duración y las tareas a realizar en esta fase, son las que mayor margen tienen para efectuar mejoras que inciden en acortar los tiempos en esta fase, produciendo una anticipación en la fecha de finalización del proyecto. Por otro lado, esta fase no tiene caminos alternativos, es decir, si se consigue acortar las tareas de esta fase, no se corre el peligro de que estas tareas dejen de ser tareas críticas, con la consecuente aparición de otras tareas críticas en paralelo.

Esto último podría ocurrir en la fase de trabajos previos, ya que, si estos se acortasen lo suficiente, podrían aparecer caminos críticos alternativos a través de la compra de material.

4. Presupuesto:

En este apartado se ha de valorar económicamente todos los elementos necesarios para el diseño de la subestación. A modo informativo para el cliente también se elaborará un presupuesto del coste de mantenimiento anual de la subestación.

En Primer lugar, se presenta un presupuesto del coste de fabricación de la subestación para su posterior uso, dicha subestación va a ser entregada directamente al cliente.

TABLA 10, PRESUPUESTO 1

Concepto	Unidades	Nº unidades	Coste Unitario	Coste
Equipo de Alta tensión				41.147,29 €
Transformador de intensidad	pz	1	7.630,00 €	7.630,00 €
Pararrayos	pz	1	1.320,00 €	1.320,00 €
Equipo SF6	pz	1	16.320,00 €	16.320,00 €
Transformador de tensión	pz	1	8.632,00 €	8.632,00 €
Equipo puesta a tierra	pz	1	3.520,00 €	3.520,00 €
Cables alta tensión	m/lote	40	27,38 €	1.095,29 €
Panel de control	pz	1	2.630,00 €	2.630,00 €
Equipo de Baja tensión				82.789,20 €
Celda de llegada	pz	1	25.000,00 €	25.000,00 €
Celda de salida	pz	2	16.000,00 €	32.000,00 €
Equipo de protección y control	pz	1	17.500,00 €	17.500,00 €
Pararrayos	pz	1	1.320,00 €	1.320,00 €
Equipo puesta a tierra	pz	1	3.520,00 €	3.520,00 €
Cable de media tensión	m/lote	40	86,23 €	3.449,20 €
Transformador de Potencia				525.152,00 €
Transformador de potencia	pz	1	520.312,00 €	520.312,00 €
Equipo puesta a tierra	pz	1	3.520,00 €	3.520,00 €
Pararrayos	pz	1	1.320,00 €	1.320,00 €
Remolque				78.362,00 €
Semiremolque	pz	1	63.000,00 €	63.000,00 €
Plataforma	pz	1	15.362,00 €	15.362,00 €
Equipo secundario				35.000,00 €
Instalación				15.000,00 €
Controles				5.000,00 €
COSTES DIRECTOS				762.450,49 €
Costes indirectos	7%			53.371,53 €
SUBTOTAL 1				815.822,03 €
Imprevistos	10%			81.582,20 €
SUBTOTAL 2				897.404,23 €
Costes Financieros	4%			35.896,17 €
TOTAL				933.300,40 €

Por lo tanto, el coste de fabricación de la subestación transformadora tiene un coste total de 933.300,40€, de los cuales más de la mitad corresponden al transformador, pieza clave en la subestación transformadora. En dicho presupuesto se adjunta como equipo secundario a todos los elementos necesarios para la construcción de la subestación, pero de poco interés para tener una visión general del coste desglosado de la subestación.

En segundo lugar, se presenta un presupuesto orientativo para cuantificar los gastos generales anuales que conlleva su puesta en marcha. Se considera que la subestación realizará 3 servicios anuales con una duración media de 3 meses por servicio, es decir, se considera que la subestación funcionará 9 meses anual, en esos 9 meses se demandará una energía total de 60000 MWh.

TABLA 11, PRESUPUESTO 2

Proceso	Nº de Serv	Nº unidades/Servicio	Coste Unitario	Coste
Transporte				8.950,00 €
Conductor	3	1	7.630,00 €	7.630,00 €
Camión	3	1	1.320,00 €	1.320,00 €
Proceso	Unidades	Nº unidades/Anual	Coste Unitario	Coste
Mantenimiento				18.405,00 €
Mantenimiento remolque			3.205,00 €	
Mantenimiento preventivo			11.200,00 €	
Operario	h	100	40,00 €	4.000,00 €
COSTES DIRECTOS				27.355,00 €
Costes indirectos	7%			1.914,85 €
SUBTOTAL 1				29.269,85 €
Imprevistos	10%			2.926,99 €
SUBTOTAL 2				32.196,84 €
Costes Financieros	4%			1.287,87 €
TOTAL				33.484,71 €

5. Conclusiones

Se han extraído diversas conclusiones respecto este proyecto, con el objetivo de exponerlas de la forma más clara posible, se presentarán de forma esquemática

1. El objeto de las subestaciones móviles es proporcionar suministro de electricidad de forma temporal. Pudiéndose ser utilizadas en emergencias.
2. La versatilidad es uno de los puntos fuertes de este tipo de subestaciones. En este proyecto se ha diseñado una subestación de 66/16 KV, pero se podría haber diseñado para otra relación de transformación y dispuesta en otro tipo de semirremolque.
3. Desde el punto de vista económico, la construcción de una subestación móvil es más rentable que la construcción de subestaciones fijas, debido al ahorro que supone no tener que invertir en obra civil.
4. Dada que su construcción se realiza en el taller, podemos asegurar su completo funcionamiento en el mismo, haciendo su puesta en servicio inmediatamente.
5. Las conclusiones extraídas para la elección de aparamenta podrían ser usadas para otras relaciones de potencia, consiguiendo así normalizar la construcción de subestaciones móviles.

6. Referencias

- [1] Historia del sector. [En línea].
Available: <http://luisguillermovelezalvarez.blogspot.com.es/2011/09/breve-historia-del-sectorelectrico>.
[Último Acceso 12/04/2019]
- [2] Subestaciones Eléctricas. [En línea].
Available: https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/pluginfile.php/5724/mod_resource/content/0/Curso_Subestaciones_Univ_Laboral_Haciadama_Parte1.pdf
[Último Acceso 12/04/2019]
- [3] Subestación GIS. [En línea].
Available: <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2009/11/analisis-de-una-subestacion-gis-parte-1.html>
[Último Acceso: 12/04/2019]
- [4] Celdas. [En línea].
Available: <http://www.solucioneselectricascl.com/catalogos/LEGRAND/Cat-Celdas-MT-2017-v6.pdf>
[Último Acceso: 12/04/2019]
- [5] Asea Brown Boveri. 1992 “Manual de las instalaciones de distribución de energía eléctrica.”. URMO.
- [6] Albert F. Spitta. 1981. “Instalaciones Eléctricas” Dossat S.A.
- [7] Manoel da Costa. 1993. “Centros de Transformación” Ediciones de Autor Técnico, S.L.