



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta técnica económica
para la instalación de una
subestación hipercompacta
aislada en Sf6**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Jesús Alberto Camacho Flores

ASESOR DE INFORME

M. en I. Benjamín Valera Orozco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Propuesta técnica económica para la instalación de una subestación hipercompacta aislada en Sf6

ÍNDICE TEMÁTICO

Introducción

Objetivo

1. Antecedentes de la empresa

- 1.1. Ormazabal
- 1.2. Misión
- 1.3. Visión
- 1.4. Política de calidad
- 1.5. Compromiso social
- 1.6. Descripción del puesto de trabajo

2. Marco teórico

- 2.1 Diagrama unifilar
 - 2.1.1. Tipos de diagramas unifilares
 - 2.1.2. Diagrama con un solo juego de barras
 - 2.1.3. Diagrama con arreglo en anillo sencillo
 - 2.1.4. Diagrama con arreglo de interruptor principal y circuitos derivados
- 2.2 Tensión nominal
- 2.3 Corrientes en una subestación
 - 2.3.1. Corriente nominal
 - 2.3.2. Corriente de cortocircuito
- 2.4 Descripción del equipo de una subestación hipercompacta aislada en Sf6
 - 2.4.1. Transformadores de instrumentos
 - 2.4.1.1. Transformadores de corriente
 - 2.4.1.2. Transformadores de tensión
 - 2.4.2. Pararrayos
 - 2.4.3. Interruptores
 - 2.4.4. Cuchillas o seccionadores
 - 2.4.5. Fusibles
 - 2.4.6. Relevadores de protección

3. Antecedentes del problema

4. Definición del problema

5. Metodología utilizada

5.1 Contacto inicial

5.2 Análisis de la información

5.2.1. Tipo de proyecto

5.2.2. Lugar geográfico del proyecto

5.2.3. Información técnica

5.2.3.1. Generalidades del proyecto

5.2.3.2. Especificaciones técnicas

5.3 Diagrama unifilar

5.4 Cálculo de cargas

5.5 Selección de material

5.6 Cotización formal

5.6.1 Oferta económica

5.6.2 Descripción técnica

6. Aportación profesional

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

1 Condiciones particulares de venta

2 Precio

3 Incoterms

4 Exclusiones

5 Validez de la oferta

6 Forma de pago

7 Facturación

8 Entrega del equipo

9 Almacenamiento

10 Embalaje

11 Garantía

12 Cancelaciones y penalizaciones

13 Fuerza mayor

Introducción

Una subestación eléctrica es una instalación o conjunto de dispositivos eléctricos que pertenecen a un sistema eléctrico de potencia, donde la función principal es modificar los parámetros de tensión y corriente, derivar circuitos de potencia y distribuir la energía. Las subestaciones eléctricas están divididas por secciones, que por lo regular son: sección de medición, sección de cuchillas, sección de interruptor principal y secciones derivadas.

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, éstas se pueden clasificar en:

- Subestaciones de transmisión. Arriba de 230 - 400 kV.
- Subestaciones de subtransmisión. Entre 230 kV y 115 kV.
- Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 36 kV.
- Subestaciones de distribución secundaria. Debajo de 36 kV.

[Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas, pag 1]

Clasificación que se muestra en la figura 1.

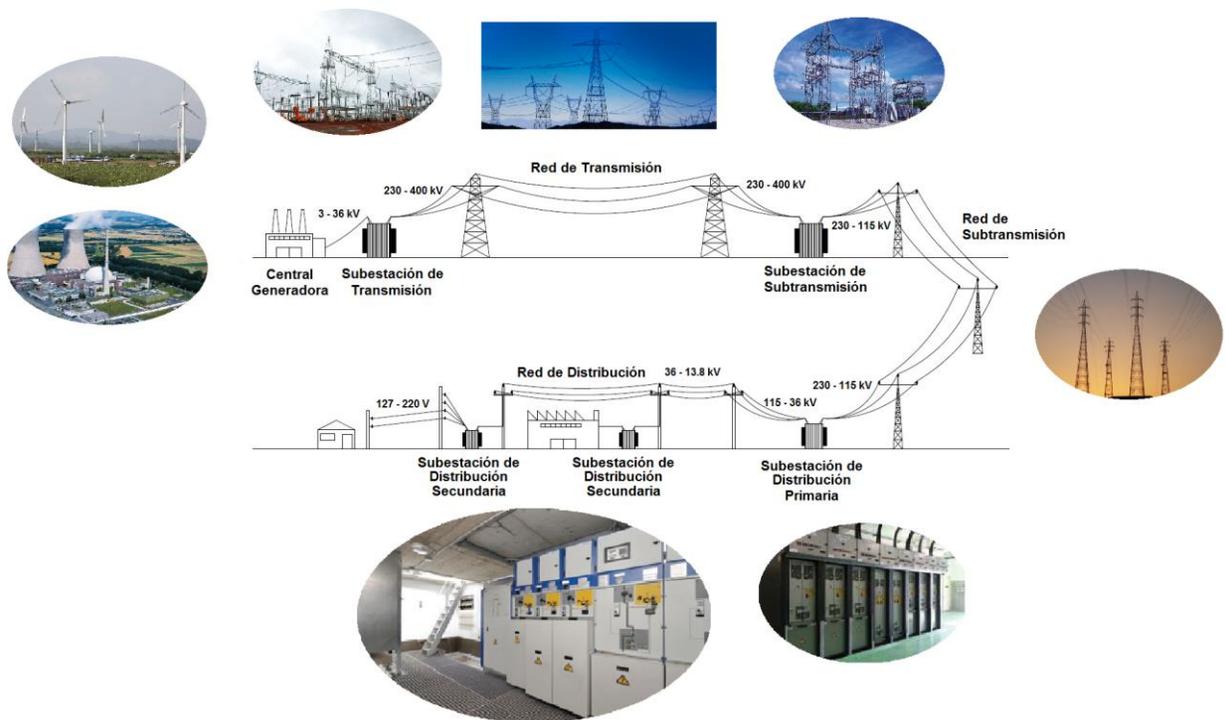


Figura 1. Clasificación de las subestaciones

A continuación se proporciona una explicación breve de cada tipo de subestación.

- Las subestaciones de transmisión y subtransmisión por lo regular las podemos encontrar junto a las plantas generadoras donde es necesario modificar las tensiones que suministran los generadores de 3 a 36 kV, para permitir la transmisión de la energía eléctrica a través de las líneas de transmisión a tensiones elevadas de 115 kV en adelante.
- Las subestaciones de distribución primaria se alimentan directamente de las líneas de transmisión, reducen la tensión de la energía de 115 kV a 36 kV para poder ser distribuida en la red de media tensión de 1 a 36 kV.
- Las subestaciones de distribución secundaria se encuentran alimentadas por los niveles de tensión entre 1 a 36 kV, su función es la de distribuir la energía y transformar la energía a los niveles de tensión más bajos 127, 220 y 440 V, estas subestaciones las podemos encontrar en las instalaciones eléctricas de fábricas, hoteles, grandes edificios corporativos, centros de investigación y en cualquier otra instalación que requiera de un sistema de distribución de energía confiable y continuó.

Una de las tecnologías que cada día toma más fuerza en la industria eléctrica es la incorporación de subestaciones hipercompactas aisladas en Sf₆ (Hexafloruro de Azufre). Usan éste gas para el aislamiento eléctrico de los componentes de las subestaciones, además de ser un buen aislante, no es toxico, no es inflamable, es un compuesto muy estable y es inodoro e incoloro a condiciones normales de presión y temperatura. Las subestaciones aisladas en Sf₆ se diseñan para trabajar en la intemperie o al interior de un edificio que las aíslan de las condiciones climáticas del medio ambiente.

Las ventajas que presentan las subestaciones aisladas en Sf₆ con respecto a las subestaciones en aire son:

- Todas las partes con tensión están contenidas dentro de cubas metálicas, esto elimina la probabilidad de contactos accidentales con partes energizadas por parte del personal técnico, aumentando la seguridad y la confiabilidad del servicio.
- Disminuyen los efectos sobre el medio ambiente, bajando los niveles de ruido debido a la operación de interruptores.
- Las dimensiones de una subestación aislada en Sf₆ corresponden aproximadamente al 15% de espacio que ocupa una subestación convencional aislada en aire, lo que permite realizar instalaciones subterráneas y se pueden alojar en edificios de escasos metros cuadrados.

- Las subestaciones aisladas en Sf6 son libres de mantenimiento, por lo que se reducen los gastos de mantenimiento de las instalaciones. [2003, Luz y Fuerza del Centro. Manual de diseño de subestaciones, pag 136]

Independientemente del tipo de subestación que se desee construir, es importante conocer los requerimientos técnicos y económicos que se necesiten para una instalación de este tipo. El ingeniero de preventa debe estar preparado con estos conocimientos técnicos, para que, de la mano de un posible cliente o proyectista, se aclaren todos los puntos técnicos para poder realizar un proyecto técnico y económicamente viable.

Es importante que el ingeniero de preventa tenga una formación relacionada con temas de ingeniería eléctrica, sobre todo con la materia de Subestaciones Eléctricas, que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, porque son el primer contacto entre un cliente y la empresa. La materia de Subestaciones nos enseña a interpretar las principales generalidades de las subestaciones eléctricas, desde la interpretación de diagramas unifilares, que es el primer tema que se observa de la materia, hasta saber cómo se diseña una red, conocer los sistemas de medición, control y los tipos de protecciones que se deben integrar a las subestaciones eléctricas.

Toda la información anterior debe ser bien manejada por el ingeniero de preventa, para poder aclarar todas las dudas que puedan tener los posibles clientes, es importante dar soluciones y respuestas claras al cliente para generar una confianza y que el cliente se de cuenta que esta trabajando con gente experimentada y conocedora del tema.

Objetivo

El objetivo de realizar la siguiente tesina, es para tener una referencia documental e histórica acerca de los procedimientos a seguir para atender las demandas de los clientes que solicitan la instalación de una subestación hipercompacta aislada en Sf6, con el fin de preparar un oferta técnica económica que satisfaga las necesidades del cliente.

1. Antecedentes de la empresa

1.1. Ormazabal

En el año de 1967 Javier Ormazabal Ocerin funda “Ormazabal” en la provincia de Igorre, España. Ormazabal es una empresa dedicada a la fabricación y la instalación de equipos para la distribución de energía eléctrica que está presente en el mercado mexicano desde el año 1999, entrando con una tecnología casi inexistente en México; las subestaciones de media tensión aisladas en gas Sf6 (Hexafluoruro de azufre).

En 2012 se constituyó la filial de Ormazabal México, ofreciendo sus servicios a todo México, Centroamérica y el Caribe, la experiencia de Ormazabal se traduce en más de 5,000 equipos de media tensión instalados en México y más de 2,000 en Centroamérica y el Caribe.

Ormazabal, es en el siglo XXI, una empresa internacional, con presencia en más de 20 países que busca el éxito de sus clientes a través de la innovación y la colaboración.

1.2. Misión

Somos una compañía especializada en el sector eléctrico orientada a la innovación. Suministramos soluciones fiables en cualquier lugar gracias a nuestra capacidad para anticiparnos a las necesidades del sector y nuestro compromiso e implicación con nuestros clientes, socios, empleados y la sociedad.

1.3. Visión

Estimulamos el desarrollo del sector eléctrico para resolver las futuras necesidad de energía.

1.4. Política de calidad

La organización debe enfocarse a satisfacer a nuestro cliente y accionistas, suministrando productos en plazo, fiables y satisfaciendo los requisitos incluidos en sus contratos, así como apoyando un enfoque a la gestión y mejora de la eficacia de los procesos, el establecimiento de objetivos, la mejora continua y el cumplimiento.

1.5. Compromiso social

Somos una compañía comprometida con las personas. Con las que construyen Ormazabal y también con nuestra sociedad y nuestro entorno.

Nuestra estrategia empresarial incluye el respeto y la protección de los derechos como parte esencial de nuestra cultura y nos comprometemos a promover estos valores en nuestro ámbito de influencia. En esta misma línea, Ormazabal colabora con la UNICEF en su labor de protección de los derechos de la infancia.

El medio ambiente es también una parte esencial del firme compromiso de Ormazabal con los entornos donde está presente. A través de tecnologías responsables e iniciativas que promueven y favorecen su protección.

1.6. Descripción del puesto de trabajo

El puesto que desempeña un ingeniero de preventa en Ormazabal consiste en la atención al cliente, recibir la información que el cliente brinda para realizar la propuesta para algún proyecto, la información que manda el cliente debe ser analizada por el área de preventa y resumida para que el área de ingeniería desarrolle la solución más viable del proyecto en cuestión. También es deber del área de preventa atender todas las dudas que tenga el cliente referente a los proyectos. Cuando el área de ingeniería propone la mejor solución para un proyecto, es deber del área de preventa realizar la propuesta técnica-económica del proyecto.

2. Marco teórico

En esta sección se presentan algunos conceptos teóricos relacionados con el presente trabajo.

2.1 Diagrama unifilar

Los diagramas unifilares son la representación gráfica de los sistemas de distribución eléctrica, el objetivo del diagrama unifilar consiste en simplificar la complejidad de todo el sistema de distribución, realizando la conexión simbólica de todos los elementos del sistema de distribución.

“El diagrama unifilar de una subestación eléctrica es el resultado de la conexión simbólica de los elementos que forman parte de la instalación. El diseño de la instalación eléctrica es resultado del análisis de las necesidades de carga y de la proyección a futuro y mediano plazo.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 4).

2.1.1. Tipos de diagramas unifilares

La elección del diagrama unifilar depende de las características del sistema eléctrico y de la función que deba realizar dicha subestación. Con base al tipo de subestación se determina el tipo y la cantidad de equipos que requiere la misma y con base a la información anterior se puede determinar en gran parte el costo de la instalación.

“Los criterios que se utilizan para seleccionar el diagrama unifilar más adecuado y económico para una subestación son los siguientes:

- Continuidad de servicio.
- Versatilidad de operación.
- Facilidad de mantenimiento de los equipos.
- Cantidad y costo del equipo eléctrico.”

(Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 5).

2.1.2. Diagrama con un solo juego de barras

Este es el arreglo más sencillo. En esta configuración se encuentran conectados los interruptores al mismo juego de barras y a su vez a los transformadores, como se muestra en la figura 2.

“En algunos casos, este sistema se presenta con un juego de cuchillas seccionadoras que se denomina bus partido, que en caso de tener una falla estas cuchillas pueden dejar sin funcionamiento parte del bus afectado y así seguir trabajando con la mitad de la instalación. Este es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipo, por lo tanto, es el más económico.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 5).

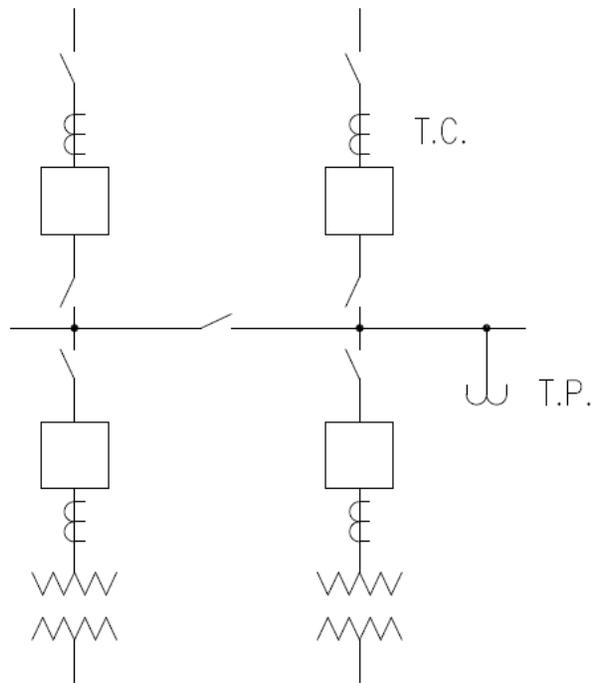


Figura 2. Diagrama de conexión con un solo juego de barras

2.1.3. Diagrama con arreglo en anillo sencillo

Este tipo de diagramas se utilizan mucho en subestaciones de distribución secundaria (de 1 a 36 kV), el sistema en anillo sencillo ofrece una alta continuidad en el servicio y es muy utilizado en instalaciones como hospitales, hoteles y bancos.

“Es un sistema que ofrece una alta continuidad en el servicio, el suministro de energía se realiza por dos líneas alimentadoras que pueden conmutar entre sí cuando existen fallas en el suministro eléctrico, como se muestra en la figura 3.” (Raull Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 9).

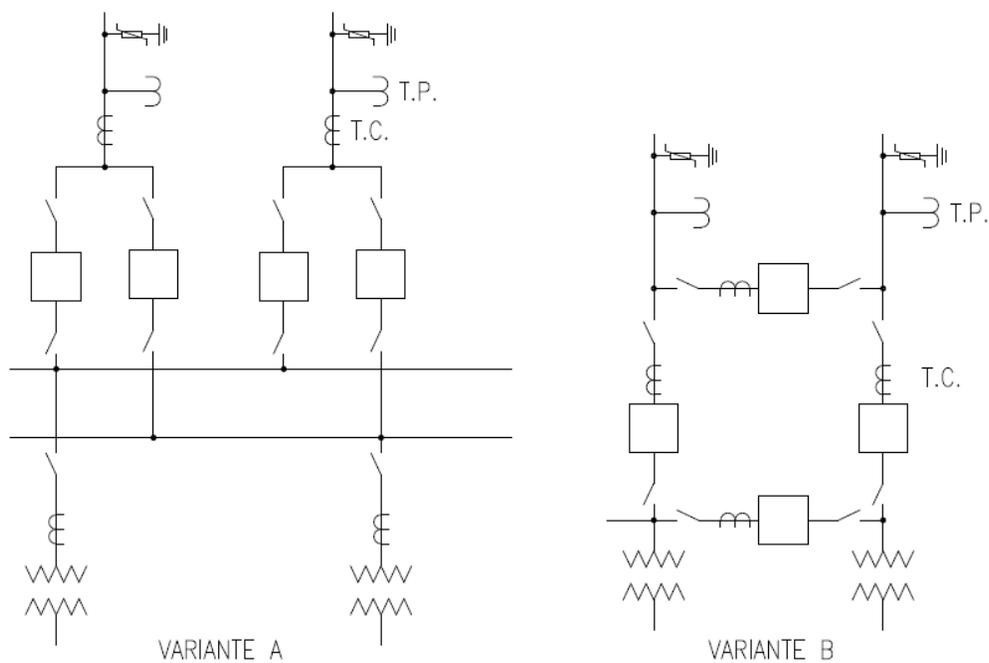


Figura 3. Diagramas de conexión con arreglo en anillo sencillo

2.1.4. Diagrama con arreglo de interruptor principal y circuitos derivados

Este es otro de los diagramas más utilizados en las subestaciones de distribución secundaria, consiste en un interruptor principal de protección al cual están conectados los interruptores de derivación, como se muestra en la figura 4. Esta configuración se utiliza cuando no es económicamente factible proteger todos los transformadores con interruptores automáticos.

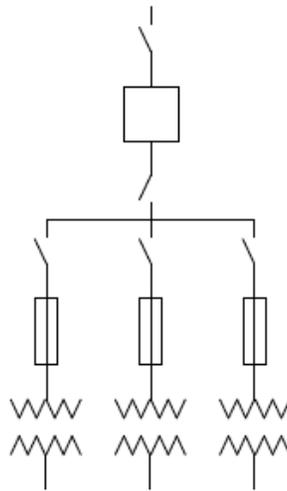


Figura 4. Diagrama de conexión de interruptor principal

2.2 Tensión nominal

La tensión nominal de una subestación es la tensión entre fases, esta tensión se fija en función de la línea de transmisión que alimenta a la subestación, por lo tanto es uno de los parámetros principales para su diseño e influye en la selección del tipo de equipos que la conformarán.

“Asociada a la tensión nominal del sistema, se establece la tensión máxima de operación, esta tensión es el valor de tensión entre fases máximo que se puede presentar en condiciones normales de operación para el cual está diseñado el equipo con relación a su aislamiento. Tanto las instalaciones como el equipo de la subestación deben operar de manera adecuada cuando se presente la tensión máxima de operación.” (Manual de diseño electromecánico de subestaciones de transmisión, pag 64).

Las tensiones nominales para subestaciones de distribución secundaria que podemos manejar en México están dadas por los valores normalizados que adopta la compañía suministradora de México y que se muestran a continuación:

- 4.16 kV
- 13.8 kV
- 23 kV
- 34.5 kV

Los sistemas de 4.16 kV y 13.8 kV son particularmente utilizados en sistemas industriales que suministran energía, principalmente, a cargas polifásicas, incluyendo motores de gran capacidad porque estas tensiones corresponden a motores de 4,000 V y 13,800 V.

Los sistemas de 23 kV y 34.5 kV son utilizados para la distribución de energía, la selección de estos sistemas depende de factores económicos y del tamaño del sistema de potencia.

2.3 Corrientes en una subestación

Las subestaciones deben estar diseñadas para soportar 2 tipos de corriente.

- Corriente nominal máxima: 400 o 630 [A].
- Corriente de corto circuito máxima: 16, 20 o 25 [kA].

2.3.1. Corriente nominal

La corriente nominal de las subestaciones eléctricas depende principalmente de la potencia y del voltaje que va a presentar el sistema de distribución eléctrica, esta corriente va a determinar la selección de los materiales para incorporar en la subestación.

“La corriente nominal fija los esfuerzos térmicos que debe soportar una instalación en sus condiciones menos favorables. En función de la corriente nominal podemos seleccionar las características de ciertos componentes que integrarán a la subestación, por ejemplo, determinar las características de las barras de conducción, interruptores, transformadores de corriente, etc.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag 35).

La corriente nominal se calcula con la ecuación:

$$I_n = \frac{\sum S(kVA)}{V_n(kV) * \sqrt{3}}$$

En donde:

S= Potencia aparente.

I_n = Corriente nominal.

V_n = Voltaje nominal.

2.3.2. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito determina los esfuerzos eléctricos y térmicos máximos que deben soportar los componentes de la subestación como, las barras de conducción, los interruptores o las cuchillas seccionadoras.

“La corriente de cortocircuito es el principal responsable de la degradación de los transformadores de la subestación. Al circular por los devanados de un transformador se produce un aumento significativo de la temperatura que degrada el aislamiento de los transformadores, el cual puede ser el origen de una falla en los embobinados de los transformadores.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 36).

2.4 Descripción del equipo de una subestación hipercompacta aislada en Sf6

Las subestaciones eléctricas hipercompactas, surgen por la necesidad de ocupar el menor espacio en ciudades densamente pobladas, donde los terrenos pueden significar una gran inversión económica.

“En ciudades densamente pobladas se tiene la necesidad de cubrir la creciente demanda de energía eléctrica, donde la escasez de terrenos y su alto costo limita y encarece la construcción de subestaciones convencionales (subestaciones aisladas en aire).” (Luz y Fuerza del Centro. Manual de diseño de subestaciones 2003, pag. 136)

En las figuras 5 y 6 se muestran las diferencias en dimensiones entre una subestación hipercompacta aislada en Sf6 y una subestación convencional aislada en aire, el sistema a comparar es un sistema de interruptor principal con circuitos derivados, este es uno de los sistemas más utilizados en la industria.

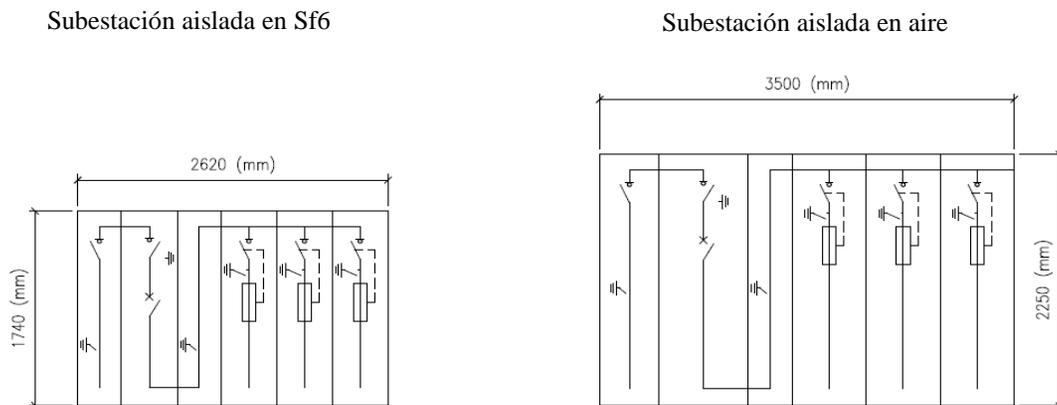


Figura 5. Vista frontal subestaciones aislada en Sf6 y aire

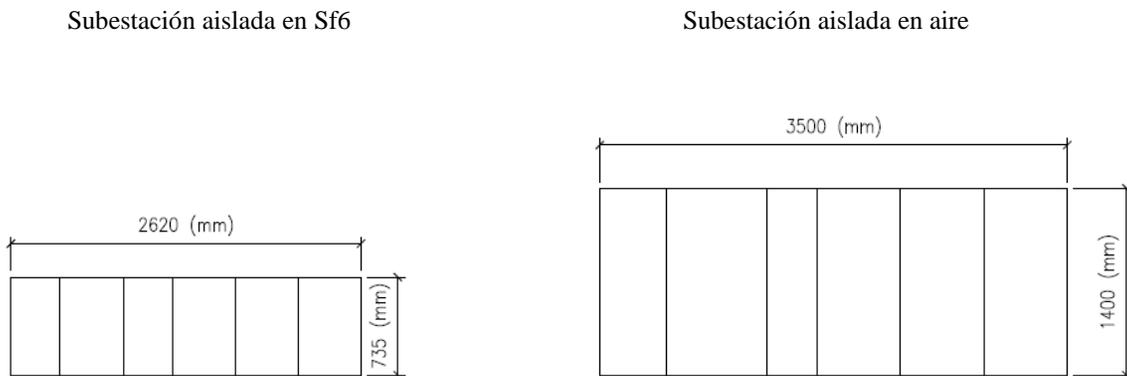


Figura 6. Vista de planta subestaciones aislada en Sf6 y aire

Las dimensiones en la vista frontal y en la vista de planta se muestran en [mm]. A continuación se procede a obtener el valor de volumen de las dos subestaciones:

Volumen subestación aislada en Sf6:

$$V_T = LxAxH [m^3]$$

Dónde:

L: Largo

A: Ancho

H: Alto

$$V_T = 2.62(m) \times 0.735(m) \times 1.74(m)$$

$$V_{TSf6} = 3.35 m^3$$

Volumen subestación aislada en aire:

$$V_T = L \times A \times H [m^3]$$

Dónde:

L: Largo

A: Ancho

H: Alto

$$V_T = 3.5(m) \times 1.4(m) \times 2.25(m)$$

$$V_{Taire} = 11.025 m^3$$

Dividiendo el volumen total de las dos subestaciones podemos obtener la relación de volúmenes entre un sistema aislado en Sf6 y un sistema aislado en aire.

$$\frac{11.025 m^3}{3.35 m^3} = 3.291$$

Por último podemos observar que, para este caso, la subestación aislada en aire tiene un volumen 3 veces más grande que una subestación aislada en Sf6, lo cual implica generar gastos mayores para los cuartos en los que serán alojadas las subestaciones.

“Las subestaciones hipercompactas aisladas en Sf6 son aquellas subestaciones cuyas partes vivas se encuentran encapsuladas dentro de envoltentes metálicas y con gas Sf6 (Hexafloruro de azufre) a presión. Es una tecnología usada desde 1965 que actualmente se encuentra muy desarrollada en Europa y Japón, y en México se utiliza desde 1978.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 133).

A continuación se describirán los principales elementos que contiene una subestación aislada en Sf6. Todos estos elementos por lo regular están incluidos en los diagramas unifilares de las subestaciones de media tensión.

2.4.1 Transformadores de instrumentos

Los transformadores de instrumentos son equipos electromagnéticos muy importantes de los sistemas eléctricos de potencia, nos permiten realizar la medición de los parámetros de voltaje y de corriente, también nos ayudan para que los equipos de control y de protección de las subestaciones funcionen a corrientes y voltajes menos elevados permitiendo que estos equipos puedan ser operados por el personal especializado de manera más segura.

“Con el objetivo de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de los tableros de medición, protección y control, se dispone de los transformadores de corriente y de tensión lo cuales tienen la función de reducir las corrientes y voltajes a pequeñas magnitudes y así poder llevar señales a los tableros antes mencionados. Estos instrumentos también proveen una separación galvánica entre las magnitudes de alta y baja tensión con lo cual se aumenta la seguridad del personal técnico.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag 52).

2.4.1.1. Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente tienen la función de alimentar los instrumentos de medición o de protección con corrientes por lo regular de 5 Ampere o menores, funcionan por inducción electromagnética; es una necesidad en todas las subestaciones eléctricas de media o alta tensión.

“Estos transformadores funcionan cuando el primario del transformador es conectado en serie con el circuito a medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que se desean energizar. Estos instrumentos tienen la función de transformar las altas corrientes del circuito a corrientes bajas para energizar los instrumentos de protección y medición.” (Raúl Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag 52).

Los transformadores de corriente pueden ser de medición o de protección.

Los transformadores de corriente utilizados para medición deben reproducir la magnitud y el ángulo de fase de la corriente lo más preciso posible y su precisión debe estar garantizada.

Los transformadores de corriente utilizados para protección deben soportar hasta veinte veces el valor de la corriente nominal que pasa a través de ellos. Su símbolo en los diagramas unifilares se muestra en la figura 7.

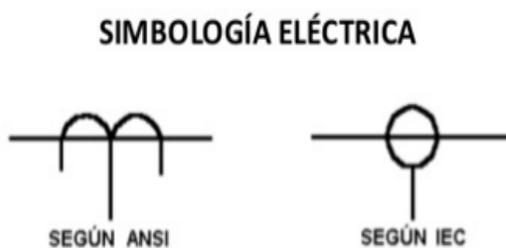


Figura 7. Simbología de los transformadores de corriente.

2.4.1.2. Transformadores de tensión

Un transformador de tensión tiene la función de alimentar a los equipos de medición y de protección con tensiones más bajas que la tensión nominal de la subestación. El primario de este transformador se conecta en paralelo con el circuito y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición o protección que se requieran energizar.

“Estos transformadores de tensión desarrollan dos funciones: la de transformar la tensión nominal a una tensión más reducida para alimentar los instrumentos de medición o protección y la de aislar estos instrumentos de los circuitos de alta

tensión. Su símbolo en los diagramas unifilares se muestra en la figura 8.”
(Transformadores de instrumentos. Recuperado de <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf>).

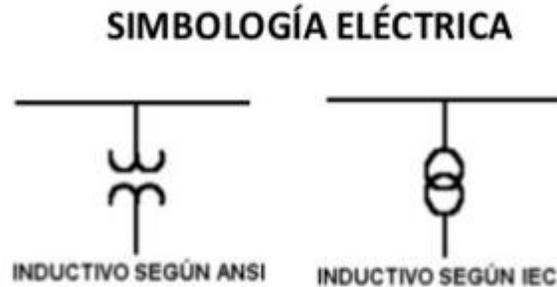


Figura 8. Simbología de los transformadores de tensión.

2.4.2. Pararrayos

Los pararrayos son equipos de protección utilizados en muchos sectores de los sistemas de distribución eléctrica, su función se desarrolla como un equipo de protección que limita las sobretensiones que se puedan presentar en los sistemas de distribución, ya sea por, fenómenos naturales o por irregularidades de la compañía suministradora.

“Son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas. Un dispositivo de protección debe tener las siguientes características:

- Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado.
- Convertirse en conductor al alcanzar la tensión de ese valor.
- Conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Una vez que se controla la sobretensión y se restablece la tensión nominal, el dispositivo de protección debe ser capaz de interrumpir la corriente, estas características se logran con el pararrayos, el cual cumple con las siguientes funciones:

- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión mínima que produce una perforación o ruptura en un aislante con el consiguiente

paso de corriente, también llamada voltaje de perforación o tensión disruptiva de diseño.

- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

En general, la función de los pararrayos, figura 9, no es eliminar por completo las sobretensiones, solo deben limitar su magnitud a un valor que no sea perjudicial para el aislamiento del equipo.” (Raúll Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 78).

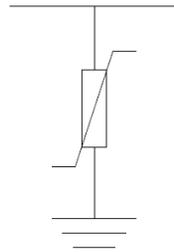


Figura 9. Símbolo de un pararrayo

2.4.3. Interruptores

El interruptor de potencia es el dispositivo encargado de desconectar una carga o una parte del sistema eléctrico, tanto en condiciones de operación normal (máxima carga o en vacío) como en condición de cortocircuito. La operación de un interruptor puede ser manual o accionada por la señal de un relé encargado de vigilar la correcta operación del sistema eléctrico. El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación. Su comportamiento define el nivel de confiabilidad que puede tener un sistema eléctrico de potencia.

“Una de las características más importantes de los interruptores es la cámara de extinción del arco. En esta cámara, al abrir los contactos del interruptor, se transforma en calor la energía que pasa a través del circuito.

El fenómeno de interrupción aparece al iniciarse la separación de los contactos, surgiendo un arco a través de un fluido y que provoca esfuerzos en las cámaras de extinción del arco, debido a las altas temperaturas y presiones. El paso de la corriente debe interrumpirse durante el paso de la onda por cero.

Los interruptores en vacío aparecen en el año 1960. Son aparatos que, en teoría abren en un ciclo, debido a la poca inercia de sus contactos y a su corta distancia. Los contactos están dentro de botellas especiales en las que se ha hecho el vacío casi

absoluto. Uno de los contactos está fijo y sellado con la cámara de vacío y por el otro lado entra el contacto móvil, que también está sellado al otro extremo de la cámara.

Al abrir los contactos dentro de la cámara de vacío, no se produce ionización, y por lo tanto, el arco se extingue prácticamente al paso por cero después del primer ciclo.

La vida del interruptor, según diferentes fabricantes, es de unas 10,000 operaciones con corrientes hasta 600 A, lo cual provoca una duración de las cámaras entre los 20 y 25 años aproximadamente.” (Raúl Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 100–101).

Los interruptores pueden ser operados de manera manual o de manera telecontrolada. Cuando se operan de manera manual, los muelles del interruptor deben ser cargados previamente con la palanca de operaciones del tablero. Cuando los muelles son cargados, solo basta con activar el botón en el tablero de la subestación para realizar la apertura del interruptor.

Para que los interruptores sean operados de forma telecontrolada, los interruptores deben ser motorizados para que se pueda realizar la carga de los muelles de manera remota y el interruptor pueda abrir cuando reciba la señal del sistema de control o protección del tablero. La figura 10 muestra un interruptor en vacío y la figura 11 su símbolo en los diagramas.



Figura 10. Interruptor en vacío [Polos encapsulados para interruptores de vacío. Recuperado de <http://tellhow-electric.es/9-embdedded-poles/180293>]

SIMBOLOGIA ELÉCTRICA



Figura 11. Simbología de los interruptores.

2.4.4. Cuchillas o seccionadores

Son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica para efectuar maniobras de operación o para realizar mantenimientos.

“La diferencia entre un juego de cuchillas y un interruptor, considerando que los dos elementos abren o cierran circuitos, es que las cuchillas no pueden abrir los circuitos cuando circule corriente a través de ellos y los interruptores si pueden realizar esta función. La única manera en la que las cuchillas pueden abrir el circuito, cuando circula una corriente a través de ellos, es cuando las cuchillas se encuentran dentro de una cuba aislada con Sf6, que les permite abrir solo los valores nominales de la corriente del circuito.” (Raúl Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag. 112).

Al igual que los interruptores, las cuchillas pueden ser operadas de manera manual y de forma telecontrolada. Para que puedan realizar maniobras de forma telecontrolada las cuchillas deben ser motorizadas y deben contar con un panel de control que emita las señales para su operación remota. La figura 12 muestra su símbolo utilizado en los diagramas.

SIMBOLOGIA ELÉCTRICA

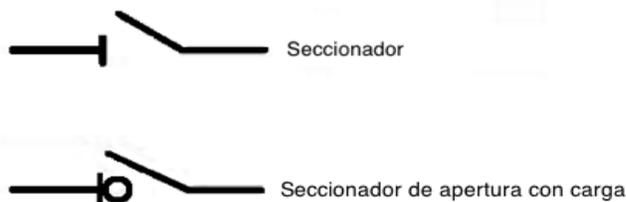


Figura 12. Simbología de seccionadores

2.4.5. Fusibles

Son dispositivos de protección eléctrica que tienen la misma función que un interruptor, con la diferencia de ser equipos más baratos que los interruptores, se emplean en instalaciones eléctricas donde los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

“El fusible tiene la función de interrumpir el flujo de corriente cuando se presenta una sobrecorriente y soportar la tensión transitoria que se produce posteriormente.” (Raúl Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas 2013, pag 115).

Los fusibles se llegan a utilizar con tensiones hasta los 115 kV, pero lo más común es usarlos en sistemas de media tensión (hasta 36 kV). Se utilizan principalmente en la protección de transformadores de distribución, para las subestaciones aisladas en Sf6 hipercompactas y la potencia máxima de interrupción de un fusible es de 2 MVA. La figura 13 muestra el símbolo empleado para este dispositivo.

SIMBOLOGIA ELÉCTRICA

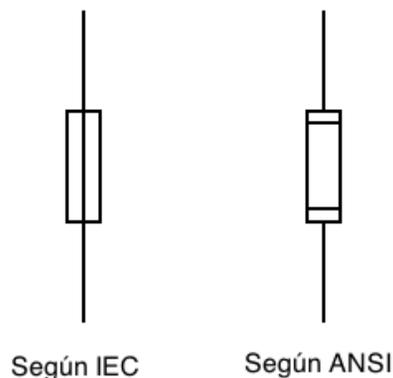


Figura 13. Simbología de fusibles

2.4.6. Relevadores de protección

Los relevadores de protección tienen la función principal de sacar de servicio cualquier elemento de un sistema de potencia que sufra un cortocircuito o que tenga un mal funcionamiento y que pueda causar daños o interferencias con la correcta operación del resto del sistema. Estos equipos de protección trabajan con la ayuda de los interruptores de potencia que son capaces de desconectar los elementos defectuosos cuando el relevador les envía una señal para hacerlo.

Por lo regular, los interruptores de potencia son colocados en cada generador, transformador, línea de transmisión, etc., y pueden ser completamente desconectados del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad de soportar el cortocircuito momentáneo que se genera sobre ellos e interrumpir el flujo de corriente.

“Una función secundaria que tienen los relevadores de protección es la de indicar la localización y el tipo de que falla que se presenta en la subestación. Esta información no solo ayuda al especialista a reparar la falla, también proporciona medios para analizar la efectividad del sistema de protecciones y para prevenir futuras fallas.” [C. Russell Mason. The Art & Science of protective relaying].

3. Antecedentes del problema

Por el motivo de la nueva construcción de un Centro de Tecnología, se recibe una solicitud por parte del cliente donde solicita que se le realice una propuesta técnico-económica para participar en el concurso referente al suministro de la nueva subestación de media tensión que requiere el nuevo Centro de Tecnología.

Se recibió la información técnica referente a la subestación de media tensión, esta información fue suministrada por el área de ingeniería que se encargó de diseñar el proyecto de la nueva subestación para el Centro de Tecnología.

4. Definición del problema

El presente proyecto tiene como finalidad elaborar una propuesta técnico-económica para la fabricación y la instalación de una subestación eléctrica compacta de media tensión que se pondrá en operación en el Centro de Tecnología.

La subestación eléctrica compacta de media tensión tiene como objetivo proporcionar la infraestructura eléctrica para facilitar su distribución.

Para poder realizar una propuesta técnico-económica, se deben establecer las características y requisitos técnicos a cumplir para el diseño y la fabricación de la subestación eléctrica de media tensión y los principales componentes que la integran.

Estas características y requisitos técnicos deben ser entregados por el cliente que requiera la propuesta técnico-económica.

La información debe contener:

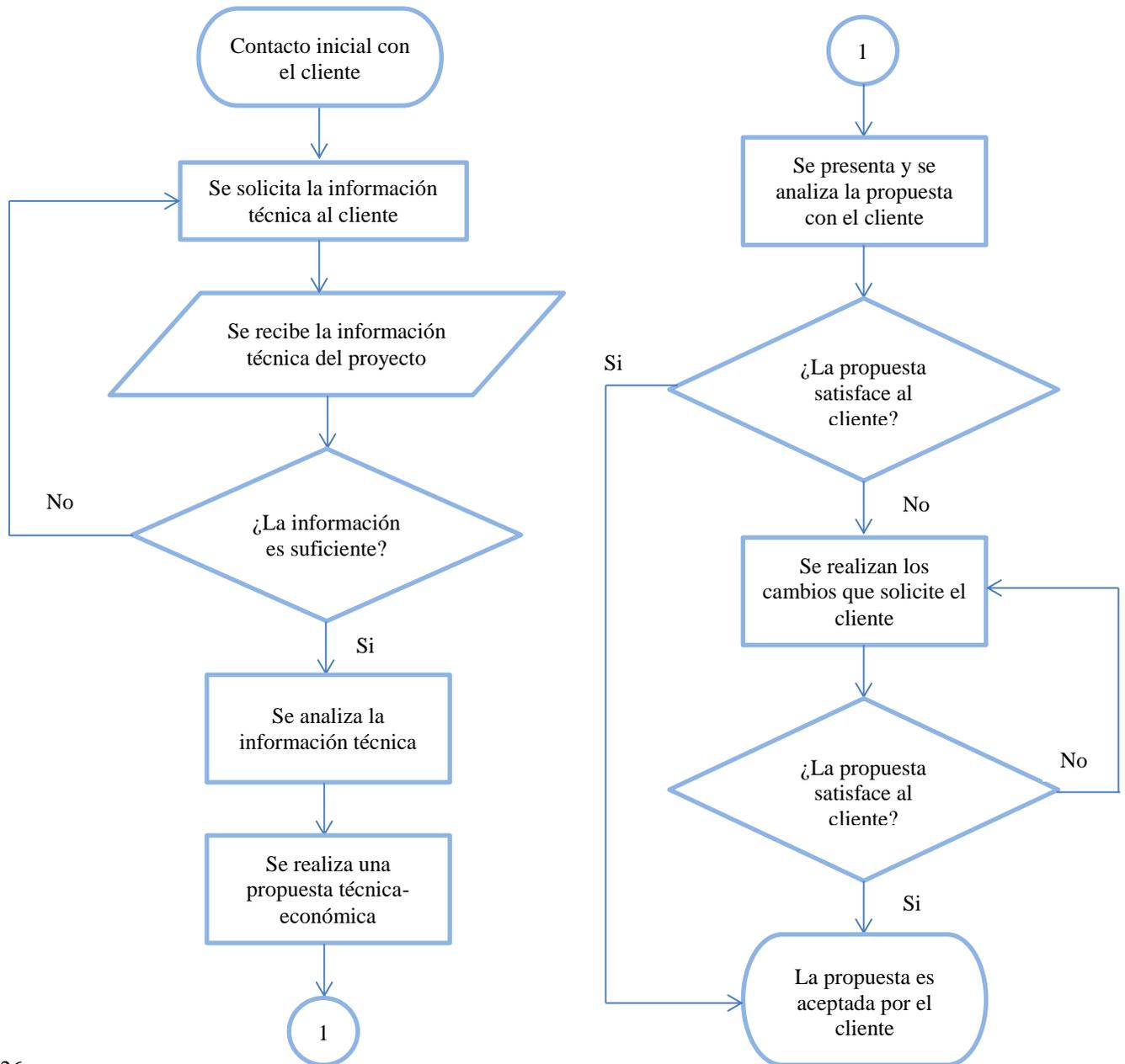
- Las secciones que integran a la subestación, el voltaje de operación.
- La corriente nominal en barras, la corriente de corto circuito.
- El valor de las potencias en kVA que debe proteger la subestación eléctrica en sus secciones de derivación.
- El diagrama unifilar del arreglo de la subestación de media tensión y en algunas ocasiones los parámetros de protecciones de los relevadores.

Con base en esta información se pueden seleccionar y proponer los elementos que integrarán la propuesta técnico-económica.

5. Metodología utilizada

La metodología para realizar este trabajo por lo regular engloba tres áreas de la empresa, el área de ventas, el área de logística y el área de ingeniería de preventa, hay casos especiales donde también se tiene la participación del área de ingeniería de soluciones y son el apoyo para desarrollar los proyectos de subestaciones con integración de telecomunicaciones y control.

Para un mejor entendimiento, en el siguiente diagrama de proceso se observa la forma en que se trabajan las solicitudes antes de ser entregadas a los clientes.



5.1. Contacto inicial

Para poder realizar una propuesta, primero se debe recibir una solicitud de oferta por parte del cliente. El área de ventas se encarga de establecer el primer contacto con el cliente, ellos se encargan de conseguir la información necesaria para poder realizar la oferta y para tener un panorama lo más amplio posible del proyecto. Si es necesario, el área de ingeniería de soluciones acompañará al área de ventas para aclarar los aspectos técnicos del proyecto.

Los datos que interesan conocer acerca del proyecto son:

- Tipo de proyecto, entre los tipos de proyecto se tienen: distribución pública, parques eólicos o solares, el sector privado (industria, infraestructuras, torres, hoteles, minas, etc.).
- Otro punto importante que interesa conocer es el lugar geográfico donde será realizado el proyecto.
- Por último, se solicita al cliente que proporcione toda la información técnica de la que disponga para el proyecto, ya sean, diagramas unifilares, especificaciones técnicas, lista de materiales y lógica de funcionamiento de la subestación (para los casos donde las subestaciones integren sistemas de comunicaciones y control).

5.2. Análisis de la información

Se procede a analizar la información proporcionada por el cliente, como se menciona en el punto anterior, son 3 puntos clave que interesan para realizar la oferta.

5.2.1. Tipo de proyecto

En la Tabla.1 se muestra el proyecto que se utilizará como referencia para este trabajo.

Obra
Ingeniería, Procura y Construcción del Centro de Tecnología

Tabla 1. Obra

Conocer el tipo de proyecto ayuda a visualizar el tipo de equipo que el cliente requiere, para este proyecto se indica que se trabajará con un centro tecnológico, por lo tanto, la subestación será instalada dentro de un cuarto donde la contaminación no será un problema a considerar (este punto debe ser confirmado por el cliente).

La norma ISO 12944 describe los sistemas de protección de estructuras de acero frente a la corrosión, los espesores recomendados y el número de capas de pintura a aplicar. Los ambientes se clasifican en función de su grado de corrosión ambiental, ya sea para estructuras expuestas a la corrosión atmosférica, enterradas o sumergidas.

En la Tabla 2 podemos observar las diferentes categorías de corrosión según la Norma ISO 12944

Categoría de corrosión	Exterior	Interior
C1 Muy baja	-	Edificios con calefacción y atmósfera limpias.
C2 Baja	Atmósfera con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales.	Edificios sin calefacción con posibles condensaciones.
C3 Media	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de SO ₂ . Áreas costeras con baja salinidad	Naves de fabricación con elevada humedad y con alguna contaminación.
C4 Alta	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Industrias químicas y piscinas.
C5-I Muy alta (industrial)	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes y contaminación elevada.
C5-M Muy alta (marítima)	Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones permanentes y contaminación elevada.

Tabla 2. Categorías de corrosión atmosférica y ejemplos de ambientes típicos.

En caso de que la subestación no sea instalada al interior del edificio, se debe de considerar el nivel de contaminación a la cual será expuesta la subestación, para seleccionar sistema de pintura adecuado, en casos especiales donde la contaminación es extrema, se deben añadir edificios prefabricados o envolventes metálicas para la protección del equipo.

5.2.2. Lugar geográfico del proyecto

El lugar geográfico donde será realizado el proyecto, es un dato importante al momento de realizar un pedido de material a la fábrica, ya que, dependiendo de la altura a nivel del mar del lugar geográfico donde será ubicado el proyecto, se procederá a llenar con cierta presión de gas la cuba que contiene el Sf6. Los valores del llenado de la subestación no pueden ser revelados por la

empresa, pero para tener una referencia del llenado cuando una subestación se encuentra a 0 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) será llenado con una mayor presión en comparación a una subestación que se encuentre a 2,500 m.s.n.m.

El equipo está diseñado con una cuba de Sf6 expandible, esta cuba permite que la subestación pueda ser transportada hasta el sitio del proyecto sin tener deformaciones que alteran el funcionamiento de la subestación, así que, no importa si una subestación diseñada para operar a nivel del mar viaja vía terrestre por lugares que tengan 2,500 m.s.n.m. La subestación deberá trabajar sin ningún problema al llegar al sitio del proyecto.

Otro punto importante a considerar es el tema de logística, el cual se debe tomar en cuenta para los costos que se pueda generar por transportar el equipo, el área de logística es la encargada de establecer los costos que deben ser integrados al precio total de la subestación.

Este proyecto en particular será desarrollado en una ciudad costera del Golfo de México que se encuentra a una altitud promedio de 16 metros sobre nivel del mar, considerando un nivel de corrosión tipo C2, porque la subestación será instalada dentro de un edificio con posibles condensaciones.

5.2.3. Información técnica

La información técnica indica las particularidades de construcción y de ingeniería con las cuales debe contar el equipo a suministrar para el cliente, esta información es la resultante del trabajo de ingeniería que el cliente desarrolla para su proyecto. Para poder obtener esta información el cliente debe de desarrollar todo el proyecto con base en las normas nacionales e internacionales (IEEE, IEC, Normas de referencia de CFE) correspondientes, en este caso, a las normas para instalaciones de media tensión.

5.2.3.1. Generalidades del proyecto

En las generalidades del proyecto se proporciona una explicación breve que describa los puntos más importantes a tomar en cuenta para el proyecto, aquí también se indican las características físicas que debe tener la subestación, el tipo de aislamiento que se debe tener (Sf6, aire, aceite, etc.), características de los interruptores, fusibles, cuchillas seccionadoras, equipos de comunicación, los transformadores de instrumentos, relevadores y el tipo de operación de la subestación (operación manual u operación remota).

En la Tabla 3 podemos observar, como un caso particular, las generalidades de la subestación que el cliente solicita. En el área de preventa se tiene que revisar cada punto y adecuarlo al material que la empresa puede ofrecer. Cuando el material no coincide con lo que el cliente solicita, se tiene la obligación de informarlo al cliente y hacerle saber que aun así el equipo que suministramos está aprobado y cumple con las normas necesarias para el correcto funcionamiento de la subestación.

Desarrollo
Condiciones de diseño
La subestación compacta principal, deberá consistir de una estructura rígida autosoportada totalmente cerrada, integrada por celdas unidas eléctrica y mecánicamente. Además deberá ser aproximadamente 60% más pequeña que las subestaciones compactas convencionales con tecnología en aire. La subestación debe contar con las siguientes celdas; celda de acometida con apartarrayos valvular de 15 KV, celda de desconectador, celda de medición, celda de interruptor principal en gas SF6 ó vacío, celda de transición, ocho celdas conteniendo en su interior siete seccionadores tripolares y una celda para futuro, las medidas serán de acuerdo al proveedor, de acuerdo a diagrama unifilar al final del documento.
Todos los equipos y materiales utilizados deben ser nuevos, libres de defectos y adecuados para el servicio.

Tabla 3. Generalidades del proyecto

La subestación que se ofertó para este proyecto está conformada por módulos o celdas unidas eléctrica y mecánicamente, que permiten configurar diferentes esquemas de distribución eléctrica secundaria en media tensión, en este caso hasta los 24 kV.

A continuación en la Tabla 4 se muestra la característica principal de la barra de conducción de la subestación.

Soporte de las barras
Las barras principales horizontales deberán estar rígidamente soportadas de extremo a extremo por aisladores de resina epóxica.

Tabla 4. Generalidades de la barra

La cuba de gas Sf6 de las celdas Ormazabal alberga los embarrados y los elementos de corte y maniobra. Y las barras están rígidamente soportadas de extremo a extremo por aisladores de resina epóxica como se muestra en la figura 14.

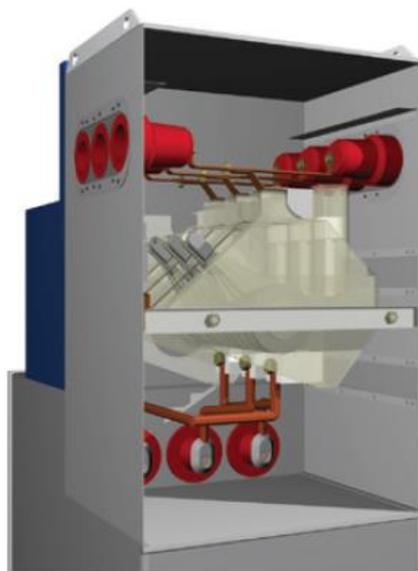


Figura 14. Embarrado dentro de la Cuba de Sf6. [Catalogo Ormazabal. ca-100-es-1501_lr, pagina 9.]

En la Tabla 5 se muestra la característica física que el cliente solicita para la barra de conducción.

Especificación de la estructura
Su estructura estará formada por perfiles de lámina, de acero rolado en frío, calibre No. 12, las puertas y cubiertas en lámina rolada en frío calibre No. 14, esto para brindar una alta resistencia mecánica. La estructura estará diseñada para soportar esfuerzos de 20 kA de capacidad interruptiva como estándar.

Tabla 5. Generalidades estructurales.

La estructura de las celdas está formada por láminas de acero inoxidable y ha sido probada para soportar esfuerzos de 25 kA de capacidad interruptiva.

La Tabla 6 muestra las generalidades del material de las barras conductoras.

Especificación de la barra conductora
Las barras de cobre electrolítico deberán ser enfundadas con funda termo contráctil.

Tabla 6. Generalidades con respecto a las barras conductoras.

Como se puede observar en la figura 18, las barras no están enfundadas con funda termo contráctil, las fundas termo contráctiles se utilizan en subestaciones convencionales aisladas en aire, donde el equipo técnico tiene acceso a las barras para poder realizar cualquier tipo de

mantenimiento. Con la tecnología de subestaciones aisladas en Sf6 no es necesario que tengan este elemento aislante porque todo el equipo que se encuentra dentro de la cuba de gas Sf6 está libre de mantenimiento durante la vida útil de la celda (30 años) y nadie puede acceder al equipo instalado dentro de la cuba de gas.

La Tabla 7 muestra las generalidades con respecto a la puesta a tierra del equipo.

Especificación de la puesta a tierra
Se proporcionará una barra de puesta a tierra colocada en la parte posterior e inferior a toda lo largo del tablero, incluyendo un conector en cada extremo (todas las partes mecánicas no portadoras de energía tendrán continuidad eléctrica a tierra).

Tabla 7. Generalidades de puesta a tierra

Cada celda cuenta con una barra de puesta a tierra colocada en la parte frontal e inferior, esto se debe a que todas las celdas solo pueden ser manipuladas por la parte frontal, como se observa en la figura 15.

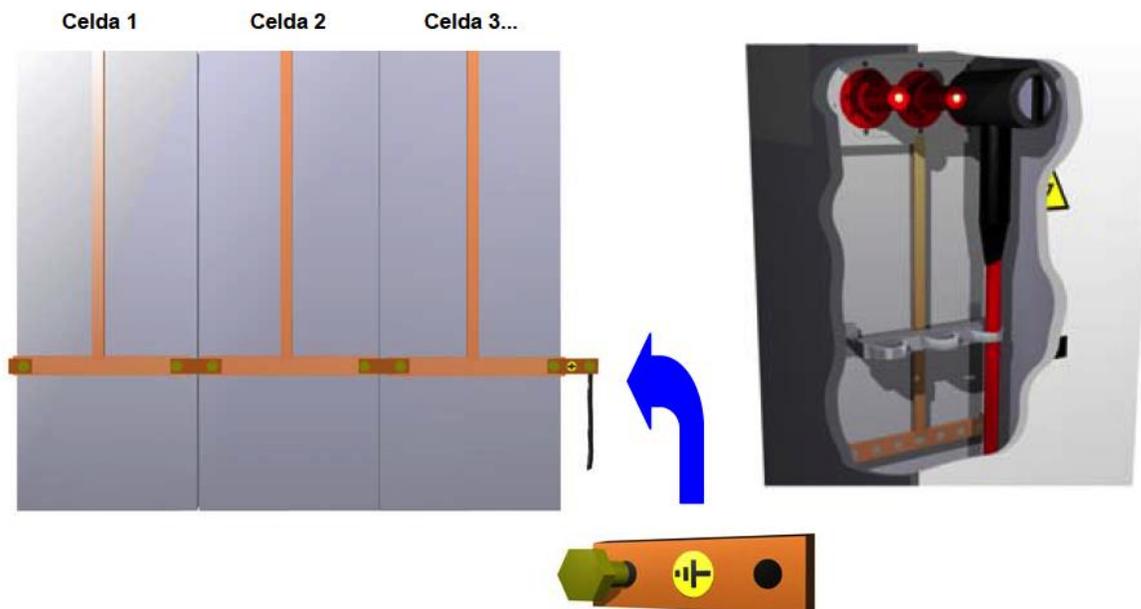


Figura 15. Compartimento de cables y barra de cobre. [Instrucciones generales Ormazabal. Ig-078-es-09, página 11 y 29.]

Con respecto a los requisitos de seguridad, el cliente establece los criterios expuestos en la Tabla 8.

Requisitos de seguridad
<p>En la subestación compacta se deben cumplir los requisitos de seguridad que para estos equipos establece la NOM-029-STPS y NFPA 70E o equivalente, como son: etiquetado, barreras, cubiertas, terminales seguras, colores de identificación, seguros y candados, puertas con conexión a tierra, puertas con seguros resistentes a alta presión, manijas de operación externa de interruptores, las que deben ser construidas de polímero no conductor o de fibra de vidrio o metálica.</p> <p>Para que se pueda determinar el Equipo de Protección Personal (EPP) (PPE por sus siglas en idioma Ingles), en la subestación compacta se debe incluir la etiqueta de la energía incidente, con los valores de J/cm² o cal/cm² de acuerdo a NFPA-70E o equivalente. Para que se pueda definir este valor, en la hoja de datos, se deben incluir los datos de corto circuito y la relación de X/R de la cometida que alimenta a la subestación compacta, el nivel de corto circuito calculado y el requerido en este nivel de tensión eléctrica, así como, el tiempo de liberación de la falla en ciclos.</p>

Tabla 8. Criterios generales de seguridad

El grado de seguridad que se indica en las normas mencionadas NOM-029-STPS Y NFPA 70E, que nos indica el etiquetado, barreras, colores de identificación, etc., no aplican para el equipo a ofertar, debido a que todos los componentes bajo tensión se encuentran dentro de la cuba de gas, la cual está sellada herméticamente durante toda la vida del producto, estas condiciones de protección están referidas en la norma IEC 62271-1 Tabla 7 - Grados de protección.

Como se muestra en la tabla 9, la celdas tiene un grado de protección IP 2XD.

Grado de protección	Protección contra el ingreso de cuerpos sólidos extraños	Protección contra el acceso a partes peligrosas
IP1XB	Objetos de 50 mm de diámetro y mayores	Acceso con un dedo (dedo de prueba 12 mm de diámetro, 80 mm de largo)
IP2X	Objetos de 12.5 mm de diámetro y mayores	Acceso con un dedo (dedo de prueba 12 mm de diámetro, 80 mm de largo)
IP2XC	Objetos de 12.5 mm de diámetro y mayores	Acceso con una herramienta (barra de prueba 2.5 mm de diámetro, 100 mm de largo)
IP2XD	Objetos de 12.5 mm de diámetro y mayores	Acceso con un alambre (hilos de prueba 1 mm de diámetro, 100 mm de largo)
IP3X	Objetos de 2.5 mm de diámetro y mayores	Acceso con una herramienta (barra de prueba 2.5 mm de diámetro, 100 mm de largo)
IP3XD	Objetos de 2.5 mm de diámetro y mayores	Acceso con un alambre (hilos de prueba 1.0 mm de diámetro, 100 mm de largo)
IP4X	Objetos de 1.0 mm de diámetro y mayores	Acceso con un alambre (hilos de prueba 1.0 mm de diámetro, 100 mm de largo)
IP5X	Polvo El ingreso de polvo no está totalmente impedido, pero no penetra una cantidad o en una ubicación que pueda inferir con el funcionamiento satisfactorio del aparato o que afecte la seguridad	Acceso con un alambre (hilos de prueba 1.0 mm de diámetro, 100 mm de largo)

Tabla 9. Grados de protección según IEC 62271-1

Por lo tanto, no se requiere de ningún equipo especial de protección personal para operar la subestación.

Otro punto importante que nos indica esta norma se describe en su punto número 11, el cual indica, que solo personal capacitado puede acceder a los tableros de control y de Alta Tensión, y será operado y mantenido por profesionales. Cuando el acceso sin restricciones está disponible para los tableros de distribución y control, pueden ser necesarias medidas de seguridad adicionales.

Las generalidades de construcción el cliente las especifica como se muestra en la Tabla 10.

Requisitos de construcción	
Las capacidades de barras principales de la subestación compacta amparadas en esta especificación son de: 630 A. La subestación compacta debe ser de construcción compartimentada.	
La subestación compacta debe ser fabricada para servicio interior, con un solo frente.	
La subestación compacta debe consistir de secciones metálicas verticales, autoportadas, de manera que puedan ensamblarse una junto a la otra formando una estructura rígida, y puede contener cualquier combinación de equipos o componentes principales, pero no limitados a los siguientes:	
a)	Sección de Acometida y apartarrayos.
b)	Sección medición.
c)	Sección de desconectador
d)	Sección de Interruptor.
e)	Sección de Transición.
f)	Secciones con alimentador en derivación (Interruptor derivado (8)).

Tabla 10. Generalidades de construcción.

El sistema de celdas que se ofertará consiste en un conjunto unifuncional o multifuncional con aparataje fija bajo envolvente metálica única, que utiliza hexafloruro de azufre (Sf6) como elemento aislante. Las celdas de este sistema pueden ser conectadas entre sí configurando los diferentes esquemas que puedan presentarse en las instalaciones eléctricas de media tensión de distribución secundaria.

Las generalidades de acceso a las instalaciones el cliente las especifica como se muestra en la Tabla 11.

Requisitos de acceso	
Cada sección debe contar con su propia puerta, las puertas de acceso deben tener un bloqueo para que no puedan ser abiertas, cuando el interruptor-desconectador esté cerrado. Todas las unidades deben ser de montaje al frente del tablero.	

Tabla 11. Generalidades de acceso.

Todas las celdas cuentan con su propia puerta frontal que da acceso al compartimento de cables, también, todas las celdas cuentan con bloqueos mecánicos que impide el acceso al compartimento de cables de media tensión mientras el seccionador no se encuentre puesto a tierra. Dicho seccionador no puede abrirse mientras no esté colocada la tapa del compartimento de cables.

Finalmente, como especificaciones generales para las señalizaciones sobre el equipo el cliente plantea los requisitos mostrados en la Tabla 12.

Requisitos de señalización
<p>Bus Mímico.</p> <p>La subestación compacta debe tener un bus mímico al frente de ella, el ancho del dibujo de barras principales debe ser de 19 mm y las derivadas de 6 mm rotulado a todo lo largo de la subestación compacta con esmalte alquidalico, en color contrastante con el del tablero, indicando el servicio, nombre del equipo y clave.</p>

Tabla 12. Generalidades de señalización.

Todas las celdas cuentan con sinópticos frontales que integran dispositivos de señalización de posición.

En las figuras 16 y 17 podemos observar la estructura constructiva de una celda, vista de frente y en forma lateral.

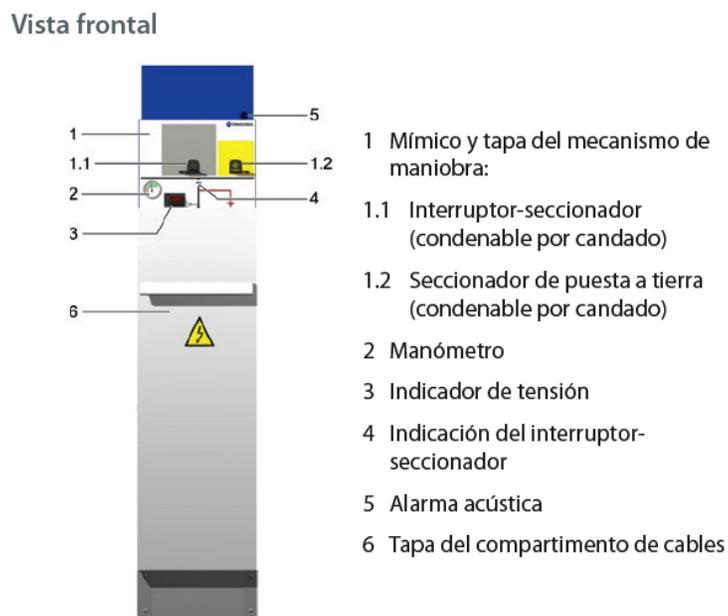


Figura 16. Vista frontal de una celda. [Catalogo Ormazabal. ca-100-es-1501_lr, pagina 8.]

Vista lateral

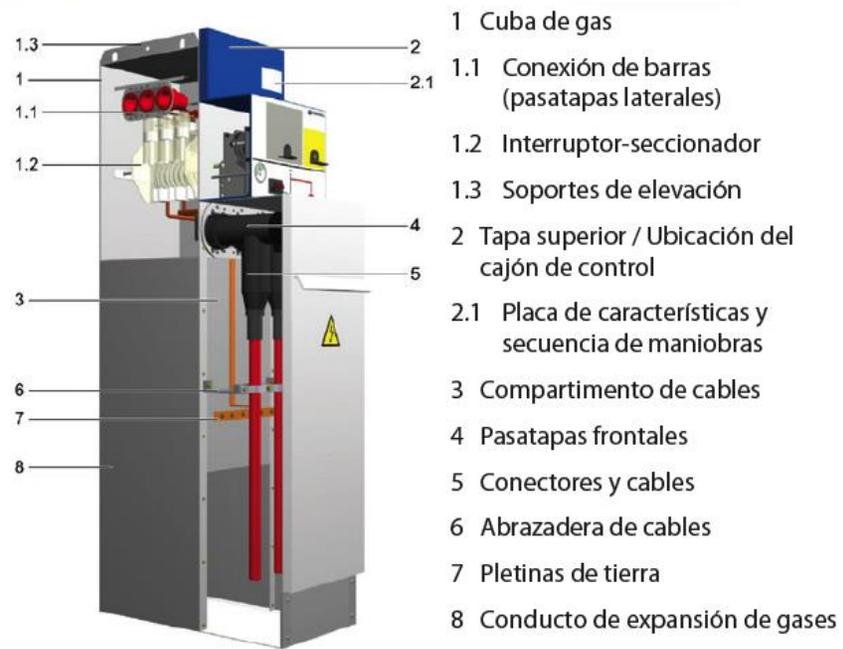


Figura 17. Vista lateral de una celda. [Catalogo Ormazabal. ca-100-es-1501_Ir, pagina 8.]

5.2.3.2. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas indican los valores nominales con los cuales se debe de diseñar la subestación a ofertar, tensión de operación o nominal, corriente nominal y corriente de corto circuito, como se muestra en la Tabla 13.

Características eléctricas
La subestación compacta puede requerirse con cualquiera de las características que se mencionan a continuación en cada numeral.
1 Tipo de alimentación. a) Un interruptor-desconectador de acometida. b) Zapatas principales. c) Acoplamiento directo a las barras.
2 Datos del sistema. a) 3 fases, 3 hilos, 60 Hz.
3 Tensión de diseño. a) 15 KV
4 Tensión de servicio. a) 13.8 kV.
5 Tipo de Interruptor. a) Aislado en SF6 ó vacío.
6 Llegada y salida de cables. a) Inferior (método normal).
7 Corriente nominal de barras horizontales. a) 630 A.
8 Corriente nominal de barras verticales (en su caso). a) 630 A mínimo.
9 Capacidad de cortocircuito de la subestación compacta. a) 20 000 A simétricos para 13.8 kV.

Tabla 13. Características eléctricas de la subestación.

En los datos presentados en la Tabla 13, se pueden observar la tensión nominal o de diseño, el tipo de interruptor, la corriente nominal de barras y la capacidad de cortocircuito de la subestación, estos son los primeros datos que ayudan a descartar opciones de materiales que se encuentran en el catálogo de opciones de la empresa. Con esto se evita ofertar equipo que pueda ser muy robusto para las necesidades del cliente y que encarece el costo de la subestación y por lo tanto del proyecto, o por lo contrario, ofertar equipo que no cumple con los requerimientos mínimos del cliente, esto puede provocar daños estructurales en la subestación y en la instalación

eléctrica del cliente al someter a la subestación a las potencias de trabajo que en realidad no se requieren.

Las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente para los transformadores de instrumentos se muestran en la Tabla 14.

Transformadores de instrumentos
<p>Transformadores de instrumentos</p> <p>Para la subestación compacta principal (de acometida), deberá suministrarse una sección para medición y monitoreo, considerando en ella los transformadores para instrumentos de acuerdo a lo siguiente:</p> <p>Los transformadores para instrumentos se deben suministrar del tipo seco o encapsulado y conforme a IEEE C57.13 o equivalente (para TP y TC) y también a los numerales 5.6 y 5.7 de IEEE C37.20.2 o equivalente (para TC).</p>

Tabla 14. Especificaciones técnicas de los transformadores de instrumentos.

Los transformadores de instrumentos que se ofertarán están encapsulados en resina de poliuretano autoextinguible.

Las especificaciones técnicas para los transformadores de corriente que desea el cliente se muestran en la Tabla 15.

Transformadores de corriente (TC)					
<p>Se deben suministrar para la subestación compacta principal (de acometida), deben tener una capacidad térmica y dinámica tal, que soporten los esfuerzos producidos por la corriente de cortocircuito.</p> <p>Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente deben conectarse mínimo con cable de 3.307 mm² (12 AWG), a tablillas terminales cortocircuitables, accesibles desde el exterior para facilitar las conexiones.</p> <p>Tamaño (calibre) 5.28 mm² (10 AWG) puede necesitarse por requerimientos de mayor carga y/o por caída de tensión, en cuyo caso, el fabricante debe suministrar cable (interno) y tablillas para tal caso.</p> <p>Deben ser del tipo pasa muros o tipo dona o tipo ventana, relación única, con secundario de 5 A, y construidos para soportar los esfuerzos térmicos y magnéticos resultantes de las corrientes máximas de cortocircuito, corroboradas en la etapa de la ingeniería de detalle. Los TC deben seleccionarse para que cumplan las condiciones de precisión indicadas en la sección 5.7 de IEEE C37.20.2 o equivalente.</p> <p>La relación de transformación de los TC se selecciona de acuerdo a la carga por alimentar, las relaciones normales se muestran en la Tabla 3 de esta especificación.</p>					
50:5 A	75:5 A	100:5 A	200:5 A	300:5 A	400:5 A
600:5 A	800:5 A	1,200:5 A	1,500:5 A	2,000:5 A	3,000:5 A
Tabla 3. Relaciones de transformación normal de los TC relación sencilla					

Tabla 15. Especificaciones técnicas de los transformadores de corriente.

Las características de los transformadores de corriente que se ofertarán se muestran en la Tabla 16, sombreados de color gris, los cuales cumple con la relación de transformación necesaria, el rango de amperaje y lo potencia necesaria para poder alimentar a los relevadores de protección.

TOROIDALES DE INTENSIDAD DE FASE		
	Rango 5 – 100 A	Rango 15 – 630 A
Relación	300/1 A	1000/1 A
Rango de medida	5 A a 100 A Extd. 130%	15 A a 630 A Extd. 130%
Protección	5P20	5P20
Medida	Clase 1	Clase 1
Potencia de precisión	0.18 VA	0.2 VA
Corriente térmica	20 kA	20 kA
Corriente dinámica	50 kA	50 kA
Corriente de saturación	7800 A	26000 A
Frecuencia	50-60 Hz	50-60 Hz
Aislamiento	0.72/3 kV	0.73/3 kV
Diámetro exterior	139 mm	139 mm
Diámetro interior	82 mm	82 mm
Altura	38 mm	38 mm
Peso	1.35 kg	1.65 kg
Polaridad	S1-azul, S2-marrón	S1-azul, S2-marrón
Encapsulado	Poliuretano autoextinguible	Poliuretano autoextinguible
Clase térmica	B (130°C)	B (130°C)
Norma de referencia	IEC 60044-1	IEC 60044-1

Tabla 16. Características de los transformadores de corriente

Finalmente, los transformadores de potencial que requiere el cliente se muestran en la Tabla 17.

Transformadores de potencial (TP)
<p>Se deben suministrar para la subestación compacta principal (de acometida), tres transformadores de potencial conexión estrella aterrizada removibles extraíbles por el frente, la conexión del circuito primario debe ser mediante barras de cobre o cable aislado (que debe cumplir con la capacidad de corto circuito de la subestación compacta).</p> <p>Los TP y sus fusibles deben ser ubicados en la parte superior de la sección, en un compartimento separado para desconexión del circuito, la ubicación de los TP debe ser antes del interruptor-desconector de acometida. Al abrir la tapa del cubículo de los TP, estos se deben desconectar y descargar a tierra. Deben contar con 3 posiciones como lo indica la IEEE C37.20.2 o equivalente, "conectado", "desconectado" y removido; las dos primeras maniobras deben realizarse a puerta cerrada. Deben suministrarse con sistema de desconexión de acuerdo a las secciones 7.12 y 7.13 de IEEE C37.20.2 o equivalente. Únicamente para el retiro de los TP'S de la sección, se acepta un montacargas, adecuado para su peso incluyendo accesorios.</p> <p>Los TP deben tener las siguientes características:</p> <p>Deben suministrarse tres transformadores de potencial, la relación de transformación debe ser de 14 400/120 Vc.a., con fusibles tanto en el primario como en el secundario.</p> <p>Deben ser encapsulados y en lo que respecta a las descargas parciales, estas no deben exceder los valores indicados en IEC 60270.</p> <p>No se deben aceptar cuchillas-fusible como medio de desconexión y protección del primario.</p> <p>Los transformadores de potencial deben tener precisión Clase 0.3 para medición, capacidad (burden) de acuerdo a la carga por alimentar.</p> <p>Los instrumentos de medición deben ser digitales del tipo multifunción, trifásicos a base de microprocesadores y con pantalla digital de cristal líquido (LCD) o pantalla digital tipo LED (mínimo de 3/7 de segmento) y tener las siguientes características:</p>

Tabla 17. Especificaciones técnicas para los transformadores de potencial.

En la Tabla 18 se muestran las características de los transformadores de potencial (TP) UXL-24 que se ofertarán y se integrarán a la subestación, estos TP estarán ubicados en una sección independiente de la subestación y que para poder acceder a estos TP, se instalará en la subestación cerraduras que no permitan acceder a los TP a menos que la sección de “interruptor principal” se encuentre puesta a tierra.

Características Eléctricas				
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo		Potencia calentamiento (VA)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	
UXL-7	7.2	20	60	450
UXL-17	17.5	38	95	450
UXL-24	24	50	125	450
UXL-36	36	70	170	650

Tabla 18. Características de los transformadores de tensión [Catalogo Artech, ARTECHE_CT_trfMTI_ES Versión: A1, pagina 20]

A continuación se deben seleccionar los fusibles para proteger las cargas a plenitud de los transformadores, aunque es poco probable que los transformadores trabajen con carga al 100%, se debe considerar esta carga a la hora de seleccionar la protección de fusibles.

La protección con fusibles tiene una limitante en la cantidad de potencia máxima que puede proteger, hasta 2,000 kVA, pero es una opción aproximadamente 5 veces más barata que una sección de interruptor automático, en cambio la sección de interruptor automático puede proteger hasta 26,000 kVA, estos datos se deben tomar en cuenta al momento de realizar el proyecto, determinar erróneamente estas protecciones pueden dejar a la empresa fuera del proyecto, ya sea de manera técnica o de manera económica.

En la Tabla 19 podemos observar los valores de los fusibles en función de la potencia en kVA que se debe proteger.

Características Eléctricas																		
Voltaje de red (kV)	Voltaje de fusible (kV)	Potencia asignada del transformador sin sobrecarga (kVA)																
		25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
		Intensidad asignada del fusible (A)																
7.2	6/12	6.3	16	16	20	20	25	40	40	50	63	80	100	160	200	250	-	-
12.5	10/24	6.3	6.3	16	16	16	20	20	25	35	40	50	63	80	80	125	-	-
13.2	10/24	6.3	6.3	10	16	16	20	20	25	35	40	50	63	63	80	100	-	-
14.4	10/24	6.3	6.3	10	16	16	16	20	20	25	40	40	50	63	80	80	-	-
25	10/24	6.3	6.3	6.3	6.3	10	16	16	16	20	20	25	35	40	50	50	80	80

Tabla 19. Selección de fusibles según normas IEC. [Catálogo Ormazabal. ca-100-es-1501_lr, página 32.]

A continuación se muestran las tablas que indican la potencia de cada transformador que se debe proteger, esta selección es determinante de manera técnica y económica del proyecto, técnicamente hablando puede determinar la funcionalidad de la subestación, como se mencionó anteriormente se tienen dos opciones para proteger las cargas de la subestación, pueden ser protegidas con secciones de fusible o con secciones de interruptor automático. La selección de las tablas se resalta en color gris y están de acuerdo con las especificaciones del cliente.

HOJA DE DATOS "A": Subestación eléctrica compacta derivada, 13.8 kV, 3f, 3h. 60 c.p.s. Subestación Compacta. Tablero TDMT-02				
Capacidad interruptiva en 13.8 kV:	(X) 20kA	Barras principales (solo para 3 fases, 3 hilos). (A nominal):	(X) 400 A () 630 A	Nivel de Aislamiento: 95 kV a 1000 m.s.n.m.
Barras derivadas (solo para 3 fases, 3 hilos). (A nominal):	(X) 400 A () 630 A	Barras de tierras (al menos de 300 A y 33 % de barras de fase):	(X) 300 A () 400 A () 630 A	Características de barras: (X) Cobre plateadas y enfundadas con funda Termo contráctil

Tabla 20. Hoja de datos general del tablero TDMT-02

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D1				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interrupción derivado	TR-01	750 KVA	Transformador TR-01

Tabla 21. Hoja de datos de carga derivada "SE-D1"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D2				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interrupción derivado	TR-02	3000 KVA	Transformador TR-02

Tabla 22. Hoja de datos de carga derivada "SE-D2"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D3				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interrupción derivado	TR-03	750 KVA	Transformador TR-03

Tabla 23. Hoja de datos de carga derivada "SE-D3"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D4				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interrupción derivado	TR-04	750 KVA	Transformador TR-04

Tabla 24. Hoja de datos de carga derivada "SE-D4"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D5				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interruptor Derivado	TR-05	500 KVA	Transformador TR-05

Tabla 25. Hoja de datos de carga derivada "SE-D5"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D6				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interruptor derivado	TR-06	750 KVA	Transformador TR-06

Tabla 26. Hoja de datos de carga derivada "SE-D6"

HOJA DE DATOS "B" Descripción de Equipo Subestación compacta				
Clave: SE-D7				
Sección/ Posición en Subestación compacta:	Tipo de Equipo en Subestación compacta:	Clave de la carga según Diagrama Unifilar	Capacidad kVA	Descripción de la carga
1	Acometida			
2	Interruptor derivado	TR-07	1050 KVA	Transformador TR-07

Tabla 27. Hoja de datos de carga derivada "SE-D7"

5.3. Diagrama unifilar

Recolectando las generalidades del proyecto y especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente, se procede a elaborar el diagrama unifilar.

En la figura 18 se muestra el diagrama unifilar con la configuración que va a tener la subestación de media tensión, también vamos a observar datos importantes para tener en consideración, como la potencia de las cargas a proteger y los equipos que se deben proteger (transformadores, bancos de capacitores, generadores, motores, etc).

Este diagrama preliminar también ayuda a definir detalles con el cliente final, se presenta para explicar porque se seleccionan las secciones mostradas y que modificaciones se realizan con base a la especificación del cliente, por ejemplo, para la sección que protege al transformador “SE-D2” donde se cambia la sección de fusible que el cliente había propuesto por una sección de interruptor automático, ya que, la sección de fusible tiene la limitante de proteger hasta 2,000 kVA, por lo cual no es la solución adecuada con este tipo de subestaciones.

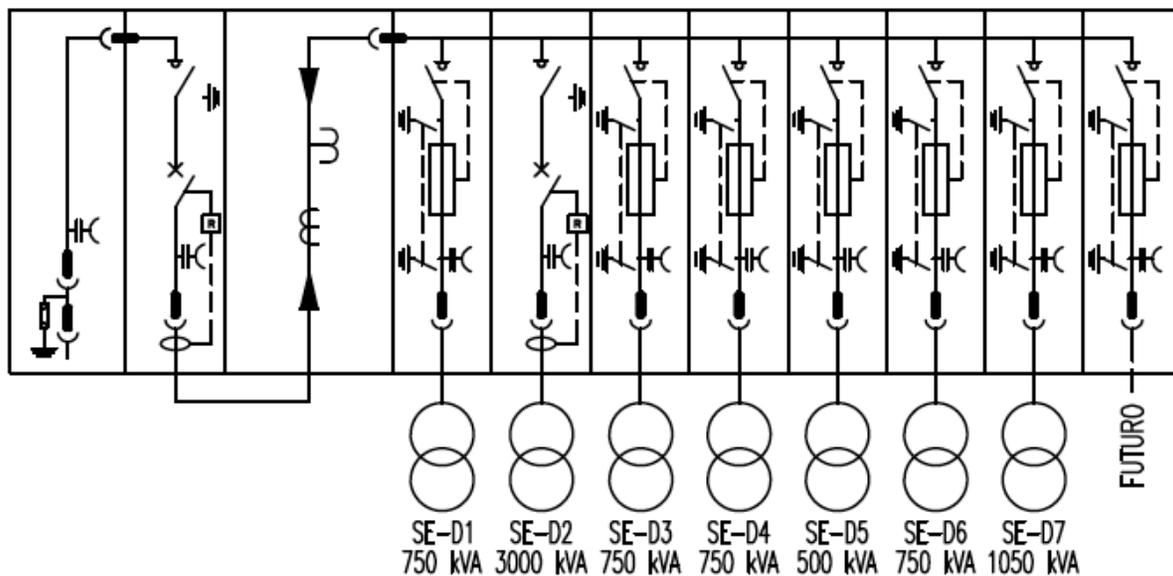


Figura 18. Diagrama unifilar del proyecto.

5.4. Cálculo de cargas

En las especificaciones de las cargas de los circuitos derivados se pueden observar las características generales que ya se habían mencionado, como lo son las condiciones ambientales y las especificaciones generales para la subestación, el punto importante a destacar de estas características son las cargas en KVA que tienen los circuitos derivados.

La suma de las cargas nos permite determinar y confirmar la capacidad de corriente que debe soportar la barra principal de la subestación.

Haciendo la suma de las cargas de los circuitos derivados obtenemos:

$$\sum S[kVA] = 750 + 3,000 + 750 + 750 + 500 + 750 + 1,050$$

$$\sum S(kVA) = 7,550[kVA]$$

La corriente nominal y corriente en barras se calcula con la ecuación:

$$I_n = \frac{\sum S(kVA)}{V_n(kV) * \sqrt{3}}$$

En donde:

S = Potencia aparente = 7,550 kVA

I_n = Corriente nominal.

V_n = Voltaje nominal = 13.8 kV

$$I_n = \frac{7,550 \text{ kVA}}{13.8 \text{ kV} * \sqrt{3}}$$

$$I_n = 315.87 [A]$$

Con el cálculo realizado obtenemos la corriente máxima que tendrán que resistir las barras de la subestación, lo cual resulta fundamental al momento de seleccionar el equipo que se va a suministrar, porque marca el nivel de protecciones que se deben suministrar y el nivel de precios que se van a seleccionar para este proyecto.

5.5. Selección de material

A continuación se muestran las funciones que tendrán las secciones de la subestación, como se puede apreciar en el diagrama unifilar, la primera sección, como se muestra en el diagrama unifilar, consiste en un sección de acometida de cables llamada “Remonte de cables”, la segunda sección es un interruptor automático, utilizado como interruptor principal de la subestación, en la tercera sección se puede apreciar una función de medida que incorpora transformadores de tensión y transformadores de corriente para obtener corrientes y voltajes de medición. Las secciones 4 y de la 6 a la 11 corresponden a funciones de fusible, los cuales tienen la función de limitar la corriente para la protección de transformadores de media tensión. Por último, la sección 5 corresponde a una sección de interruptor automático, esta sección no puede ser de fusible por la potencia del transformador de media tensión que se debe proteger.

Para la selección del material antes descrito, tenemos que seleccionar los valores que requiere el proyecto, cada celda o sección presenta distintos valores y características que pueden ser seleccionados para poder codificar una celda de media tensión, en función a las necesidades del cliente y la funcionalidad del proyecto, se deben seleccionar los valores que mejor se adapten para cumplir de manera técnica y económica con las necesidades de la subestación eléctrica.

A continuación se presentan las tablas de cada sección de la subestación, las tablas presentan todas las opciones que pueden ser seleccionados, los valores que se encuentran sombreados son los necesarios para cumplir con la especificación del presente proyecto.

Sección 1. Función de Remonte de Barra.

Esta sección se utiliza como entrada o salida de cables de media tensión que permite la comunicación con el embarrado del centro de transformación. Esta sección será utilizada como sección de acometida para los cables de media tensión.

Características eléctricas		Norma IEC			
Tensión asignada	[kV]	12		24	
Frecuencia asignada	[Hz]	50	60	50	60
Corriente asignada					
Interconexión general del embarrado a celdas	[A]	400	630	400	630
Derivación	[A]	400	630	400	630
Tensión asignada de corta duración soportada a frecuencia industrial (1 min)					
Fase a tierra y entre fases	[kV]	28		50	
Tensión soportada asignada a impulso tipo rayo					
Fase a tierra y entre fases	[kV]	75		125	

Tabla 28. Características eléctricas de la función “Remonte de barra”

Sección 2 y 5. Función de protección con interruptor automático.

Esta función de protección está equipada con un interruptor automático de corte en vacío en serie con un interruptor-seccionador de tres posiciones. Esta sección se utiliza como protección general y protección de transformador, para este caso se utilizara como protección general de la subestación.

Características eléctricas		Norma IEC	
Tensión asignada	[kV]	24	
Frecuencia asignada	[Hz]	50	60
Corriente asignada			
Interconexión general del embarrado a celdas	[A]	400	630
Derivación	[A]	400	630
Tensión asignada de corta duración soportada a frecuencia industrial (1 min)			
Fase a tierra y entre fases	[kV]	50	

A través de la distancia de seccionamiento	[kV]	60		
Tensión soportada asignada a impulso tipo rayo				
Fase a tierra y entre fases	[kV]	125		
A través de la distancia de seccionamiento	[kV]	145		
Interruptor automático		IEC 62271-100		
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)				
Corriente de corto circuito en 3s	[kA]	16	20	25kA 1s
Valor pico	[kA]	40	52	62.5
Corriente asignada de corte y de cierre				
Corriente activa de corte asignada	[A]	400	600	
Corriente de corte en cortocircuito	[kA]	16	20	25kA 1s
Corriente de cierre del interruptor principal (valor pico)	[kA]	40	50	62.5
Secuencia de maniobras				
Sin reenganche		CO-15 s-CO CO-3 min-CO		
Con reenganche		O-0.3 min-CO O-0.3 s-CO-3 min-CO		
Interruptor-seccionador		IEC 62271-103 + IEC 62271-102		
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)				
Corriente de corto circuito en 1s o 3s	[kA]	16	20	25kA 1s
Valor pico	[kA]	40	52	62.5
Corriente activa de corte asignada	[A]	400	600	
Corriente de cierre del interruptor principal (valor pico)	[kA]	40	52	62.5
Seccionador de puesta a tierra		IEC 62271-102		
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito de tierra)				
Corriente de corto circuito en 1s o 3s	[kA]	16	20	25kA 1s
Valor pico	[kA]	40	50	62.5
Corriente de cierre del interruptor principal (valor pico)	[kA]	40	50	62.5

Tabla 29. Características eléctricas de la función de protección “Interruptor automático”

Sección 3. Función de medida.

Esta sección se utiliza como alojamiento para transformadores de medida de tensión e intensidad, permitiendo comunicar con el embarrado del centro de transformación, mediante barras o cables secos.

Características eléctricas		Norma IEC			
Tensión asignada	[kV]	12		24	
Frecuencia asignada	[Hz]	50	60	50	60
Corriente asignada					
Interconexión general del embarrado a celdas	[A]	400	630	400	630
Tensión asignada de corta duración soportada a frecuencia industrial (1 min)					
Fase a tierra y entre fases	[kV]	28		50	
Tensión soportada asignada a impulso tipo rayo					
Fase a tierra y entre fases	[kV]	75		125	

Tabla 30. Características eléctricas de la función "Medida"

Sección 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 11. Función de protección con fusible.

Esta función de protección está equipada con un interruptor-seccionador de tres posiciones: cerrado, abierto y puesta a tierra y con fusibles limitadores de corriente, esta sección se utiliza como protección general y de transformadores de hasta 2,000 kVA.

Características eléctricas		Norma IEC		
Tensión asignada	[kV]	12	24	
Frecuencia asignada	[Hz]	50	60	
Corriente asignada				
Interconexión general del embarrado a celdas	[A]	400	630	
Derivación a transformador	[A]	200		
Tensión asignada de corta duración soportada a frecuencia industrial (1 min)				
Fase a tierra y entre fases	[kV]	28	50	
A través de la distancia de seccionamiento	[kV]	32	60	
Tensión soportada asignada a impulso tipo rayo				
Fase a tierra y entre fases	[kV]	75	125	
A través de la distancia de seccionamiento	[kV]	85	145	
Interruptor-seccionador		IEC 62271-103 + IEC 62271-102		
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)				
Corriente de corto circuito en 1s o 3s	[kA]	16	20	25kA 1s
Valor pico	[kA]	40	52	62.5
Corriente activa de corte asignada	[A]	200		
Corriente de cierre del interruptor principal (valor pico)	[kA]	40	52	62.5
Seccionador de puesta a tierra		IEC 62271-102		
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito de tierra)				
Corriente de corto circuito en 1s o 3s	[kA]	1	3	
Valor pico	[kA]	2.5	7.5	
Corriente de cierre del interruptor principal (valor pico)	[kA]	2.5	7.5	

Tabla 31. Características eléctricas de la función "Protección con fusible"

5.6. Cotización formal.

Por último, con base a toda la información recopilada y con la información presentada preliminarmente al cliente, se integra la oferta técnico-económica de manera formal, la cual se presentará al cliente. Esta oferta técnico-económica debe incluir la información técnica con el material que se seleccionó con base a la información técnica presentada por el cliente y la información preliminar que presenta la empresa para realizar los cambios necesarios para adecuar el proyecto a los materiales que puede ofrecer la empresa. También contará con la información económica que incluye los precios finales de los materiales solicitados y el precio del servicio de instalación, estos dos precios son dependientes del material seleccionado para el proyecto. Al final de la oferta técnico-económica se presentan cuestiones administrativas y que se deben cumplir en caso de que el cliente quiera realizar la compra del equipo.

5.6.1 Oferta económica.

En esta parte de la oferta sólo se presentan los precios del material solicitado y el precio de los servicios de instalación en el sitio del proyecto.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Subestación Principal "TDMT-02", clase 24 kV, 400 Amp, 20 kA, compuesta de celdas cgm.cosmos con arreglo 1Rc-1V-1M-1P-1V-6P
1	Celda de Remonte de cables (Rc)
2	Celda de Interruptor automático con relevador de protección (V)
1	Celda de medición + Transformadores de corriente y Transformadores de Potencia (M)
7	Celda de Fusible con fusibles de protección (P)

Tabla 32. Ejemplo de precios del material solicitado

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Pruebas previas y Puesta en marcha.

Tabla 33. Ejemplo de precio de los servicios de instalación

5.6.2 Descripción técnica.

En esta parte de la oferta se presenta toda la información técnica que se recabó a lo largo del proceso de la definición técnica del proyecto, es importante incluir todos los datos acordados con el cliente para evitar inconvenientes al momento de realizar la venta del equipo.

SUBESTACION PRINCIPAL

FAMILIA/MODELO cgmcosmos-rc	ESQUEMA
<p>Tablero modular destinado a proteger los cables de Media Tensión de acometida al embarrado del conjunto general de tableros con esquema sinóptico del circuito principal en la cubierta.</p> <p>Vnominal = 24 kV frecuencia = 60 Hz Inominal = 400 A V_{f-f} = 50 kV</p> <p>Indicador luminoso (capacitivo) autoalimentado de presencia de tensión ekorVPIS de acuerdo a norma IEC 61958.</p> <p>Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación</p> <p>Apartarrayos (3), de tensión nominal asignada Vr = 24 kV</p> <p>Dimensiones. Ancho: 550 mm Alto: 1.740 m m Fondo: 735 mm</p>	

Tabla 34. Celda Remonte de barra

FAMILIA/MODELO cgmcosmos-v	ESQUEMA
<p>Tablero de Media Tensión modular de interruptor automático, corte y aislamiento íntegro en SF₆</p> <p>Características eléctricas del interruptor automático y del seccionador:</p> <p>Vnominal = 24 kV frecuencia = 60 Hz Inominal = 400 A Icortocircuito = 20 kA V_{f-f} = 50 kV</p> <p>Interruptor automático trifásico de corte en vacío, mando manual, contactos auxiliares</p> <p>Secuencia sin reenganche: CO-15s-CO CO-3 min-CO</p> <p>Bobina de disparo a emisión de tensión</p> <p>Seccionador-seccionador de puesta a tierra</p> <p>Relé de protección ekor.rpg</p> <p>Tres transformadores de intensidad toroidales incorporados en los pasatapas: 1000/1 A 0.2 VA Cl. 5P20</p> <p>Indicador luminoso (capacitivo) autoalimentado de presencia de tensión ekorVPIS de acuerdo a norma IEC 61958.</p> <p>Enclavamiento con cerradura enclavada con el seccionador de puesta a tierra en cerrado (se suministra cerradura montada en celda y dos llaves sueltas).</p> <p>Embarrado para 400 A</p> <p>Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación</p> <p>Conectores en T (3) de Media Tensión, modelo K430TB</p> <p>Dimensiones. Ancho: 480 mm Alto: 1.740 mm Fondo: 850 mm</p>	 <p>El diagrama muestra un interruptor automático trifásico con sus componentes auxiliares. Incluye un interruptor principal con tres contactos, un relé de disparo (RPG) conectado a una bobina de disparo, un seccionador de puesta a tierra, un relé de protección (ekor.rpg) y un indicador luminoso (VPIS) autoalimentado. El diagrama también muestra los transformadores de intensidad toroidales y los conectores en T de media tensión.</p>

Tabla 35. Celda de Interruptor automático

FAMILIA/MODELO ekor.rpg

Relé de protección integrado en celda de interruptor automático:

Protección de sobreintensidad de fases temporizada (51).

Protección de sobreintensidad de fases instantánea (50).

Protección de sobreintensidad fase-tierra temporizada (51N).

Protección de sobreintensidad fase-tierra instantánea (50N).

Disparo mediante señal externa.

Medida de intensidades fases y neutro.

Captadores de intensidad comprobados en fábrica.

Puerto de comunicación frontal RS232 para configuración del equipo y posterior RS485 para comunicación al sistema de control.

Autoalimentado (a partir de 5 A en el primario) con posibilidad adicional de alimentación auxiliar (230 Vac)

Alimentación auxiliar: De 24 Vdc a 125 Vdc.

Display para ajuste/consulta local.

Configuración y ajuste mediante software ekorSOFT.



Tabla 36. Relevador de protección modelo “ekor.rpg”

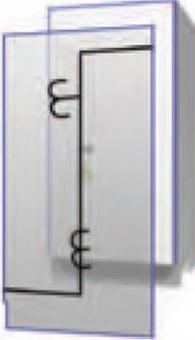
FAMILIA/MODELO cgmcosmos-m	ESQUEMA
<p>Tablero de medición modular destinado a dar alojamiento a los transformadores de medida de tensión e intensidad, permitiendo comunicar con embarrado del conjunto general de celdas mediante cable seco.</p> <p>Vnominal = 24 kV frecuencia = 60 Hz Inominal = 400 A Vf-f = 50 kV</p> <p>Tres transformadores de tensión modelo UXL-24 monofásicos, aislamiento seco, nivel de aislamiento 24 kV, relación de transformación:</p> <p>14.400:V3 / 120:V3V 15VA Cl.0,2</p> <p>Tres transformadores de intensidad monofásicos, aislamiento seco, nivel de aislamiento 24 kV, relación de transformación:</p> <p>1000/1 A 15 VA Cl. 0.2</p> <p>Interconexion de potencia con celdas contiguas</p> <p>Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación</p> <p>Accesorios y pequeño material.</p> <p>Dimensiones. Ancho: 800 mm Alto: 1.740 mm Fondo: 1.025 mm</p>	

Tabla 37. Celda de medida

FAMILIA/MODELO cgmcosmos-p	ESQUEMA
<p>Tablero de Media Tensión modular de protección con fusibles, corte y aislamiento íntegro en SF₆</p> <p>Características eléctricas de la celda:</p> <p>Vnominal = 24 kV frecuencia = 60 Hz Inominal = 400 A Icortocircuito = 20 kA V_{f-f} = 50 kV</p> <p>Características eléctricas del seccionador:</p> <p>Vnominal = 24 kV frecuencia = 60 Hz Inominal = 200 A Icortocircuito = 20 kA Ipico= 52 kA</p> <p>Interruptor rotativo III, con posiciones CONEXION-SECCIONAMIENTO-PUESTA A TIERRA, mando manual BR</p> <p>Tres portafusibles para cartuchos de 24 kV, según DIN-43.625</p> <p>Tres fusibles APR (Alto Poder de Ruptura) de 24 kV, de baja disipación térmica.</p> <p>Seccionador de puesta a tierra que efectúa esta puesta a tierra sobre los contactos inferiores de los fusibles.</p> <p>Indicador luminoso (capacitivo) autoalimentado de presencia de tensión ekoVPIS de acuerdo a norma IEC 61958..</p> <p>Enclavamiento con cerradura enclavada con el seccionador de puesta a tierra en cerrado (se suministra cerradura montada en celda y dos llaves sueltas).</p> <p>Embarrado para 630 A</p> <p>Pletina de cobre de 30 x 3 mm. para puesta a tierra de la instalación</p> <p>Accesorios y pequeño material.</p> <p>Conectores rectos (3) de Media Tensión, modelo K152SR</p> <p>Dimensiones. Ancho: 470 mm Alto: 1.740 mm Fondo: 735 mm</p>	

Tabla 38. Celda de protección con fusible

6. Aportación profesional

Mi aportación profesional dentro de este proceso de la empresa comienza en el punto 5.2 Análisis de la información. Para poder realizar el análisis de la información primero recibí una capacitación, en la cual me instruyeron de manera teórica para conocer y saber aplicar las normas bajo las cuales están probadas las celdas de media tensión de Ormazabal. Al conocer las normas aplicables, puedo empezar a analizar la información que el cliente envía para poder especificar que tipo de celdas de media tensión son las que requiere el cliente para el proyecto, en caso de que la información tenga desviaciones técnicas y que indiquen normas que no apliquen para el tipo de proyecto que intentan desarrollar, nuestra obligación es de orientar al cliente con la información necesaria y correcta.

El análisis de los puntos 5.2.1 Tipo de proyecto, 5.2.2 Lugar geográfico y 5.2.3 Información técnica, me da el panorama suficiente para proponer y seleccionar el modelo del material a utilizar. Ormazabal cuenta con una amplia gama de productos, por lo cual, es importante seleccionar el material adecuado para que se adapte con la especificación técnica del cliente y con el presupuesto del proyecto. Los puntos 5.2.1 y 5.2.2. son los puntos más sencillos que tengo que analizar, estos puntos me ayudan al momento de definir un pedido a fábrica en el cual tengo que mencionar el nivel de llenado con gas S_f6 y el tipo de pintura que deben usar las celdas de media tensión.

El punto 5.2.3 define el 95% del material que debo proponer, tengo que leer toda la información; por tal motivo es importante que entienda la especificación técnica, es aquí donde toma importancia la formación académica que tenemos en la Facultad de Ingeniería, en la facultad me instruyeron con los conocimientos necesarios para saber cómo funcionan los elementos de una subestación y cuáles son las funciones generales de estos elementos. Esta información complementada con la formación normativa y del equipo que recibí en Ormazabal, me dieron los conocimientos necesarios para realizar la propuesta del equipo del proyecto, también, como se muestra en el punto 5.2.3.1, le explico al cliente las desviaciones técnicas que tiene el proyecto para que sean adaptadas al equipo que se ofrece.

Después de leer y comprender las especificaciones técnicas del proyecto, realizó un diagrama unifilar con los detalles de la subestación, este diagrama tiene la finalidad de aclarar las dudas que puedan surgir con el cliente y que le podamos dar una mejor perspectiva del material que se les va a ofertar. En el punto 5.3 de esta tesina podemos observar el diagrama unifilar que se presentó al cliente y el cual fue la base para empezar a trabajar las dudas técnicas del proyecto. Conforme se avanza en el proyecto, este plano se puede modificar y se puede adaptar a las necesidades del cliente.

Como se puede observar en el diagrama unifilar del punto 5.3, conocemos las cargas máximas de los circuitos derivados de la subestación, están representados con los transformadores de potencia, con este dato procedo a realizar el cálculo de carga máxima que puede tener la subestación trabajando al límite de su capacidad. Este dato es muy importante porque con base al resultado procedo a seleccionar uno de los componentes más importantes de la subestación, la barra principal. Estas barras deben ser seleccionadas para soportar la carga máxima que pueda tener la subestación, la selección de estas barras también repercute de manera significativa en el costo de la subestación, una mala decisión al momento de la selección puede afectar el proyecto tanto de manera técnica y económica.

Después de realizar el cálculo de cargas, procedo a realizar la selección del material de la subestación. En el punto 5.5 se observan las tablas de selección de material, tengo que sombrear las características del equipo a ofertar, esta selección la hago con base a la información que se presenta en las especificaciones técnicas, también en las correcciones que pueda tener el diagrama unifilar y por último y no menos importante, con base al cálculo de cargas y la determinación de la barra principal de la subestación. La mayoría de estas características se presentan en la cotización formal de la subestación.

Por último, después de reunir toda la información técnica y de seleccionar el material de cada componente de la subestación, puedo conocer el precio de la subestación, con base a las tablas de precios manejadas por Ormazabal, con el precio y la información técnica procedo a redactar la oferta técnico-económica.

Primero, como se observa en el punto 5.6.1 se presenta la tabla con el precio desglosado por cada sección de la cual está compuesta la subestación, el precio esta con base en el cálculo y la suma de los elementos que debe incluir la subestación y que debe satisfacer la necesidad del cliente.

El segundo paso para realizar la oferta técnico-económica, consiste en describir de manera puntual cada sección que contiene la subestación, la descripción se tiene que presentar de manera detallada, para que el cliente pueda leer que la oferta contiene los materiales necesarios para cumplir con las características técnicas del proyecto. En el punto 5.6.2 se pueden observar las descripciones que utilice para este proyecto.

Por último y no menos importante, en los anexos se pueden observar las descripciones de las condiciones particulares en caso de realizar la venta, estos se describen en el anexo 1-13. Son puntos pre-redactados por el área administrativa de la empresa y le indican al cliente cuales son las condiciones que aceptamos y bajo qué términos deben realizar la compra del equipo, este tema administrativo puede variar y se puede negociar a lo largo del seguimiento comercial que se lleve con el cliente.

Conclusiones

Con el trabajo desarrollado en esta tesina, la empresa ahora cuenta con una referencia documental e histórica que puede ser la base para la atención de futuros proyectos y también puede servir como una herramienta para la capacitación de futuros empleados en el área de preventa.

Para este caso en particular, tuvimos que lidiar con el problema de la mezcla de normas para subestaciones eléctricas de media tensión, porque a pesar de que la tecnología en Sf6 no es nueva en México, los encargados de realizar las ingenierías de los proyectos suelen mezclar las normas de subestaciones aisladas en Sf6 y subestaciones aisladas en aire (norma habitual en México), es realmente importante conocer las diferencias que existen entre las normas y comentar con el cliente las diferencias, realizar estos comentarios a su debido tiempo nos permitió entregar una oferta técnico-económica adecuada a las necesidades que solicita el cliente.

También observamos porque el perfil del área de preventa necesita de personas formadas en el ámbito de la Ingeniería eléctrica-electrónica, observamos cómo se deben desarrollar los temas vistos en la carrera de ingeniería eléctrica-electrónica y cómo se aplican estos conocimientos para el desarrollo de un proyecto de ingeniería de media tensión.

A lo largo de la tesina estudiamos todas las variantes técnicas bajo las normas internacionales (IEC) necesarias para satisfacer la necesidad de nuestro cliente. Se logró desarrollar y presentar una oferta técnico-económica que enmarca las necesidades técnicas de la subestación compacta en Sf6 que requiere y se ofreció un precio para que lo tome como referencia para el desarrollo económico del proyecto y para la futura adquisición de la subestación hipercompacta.

Bibliografía

2013, Raúl Martín, José. Diseño de subestaciones eléctricas.

Manual de diseño electromecánico de subestaciones de transmisión

2003, Luz y Fuerza del Centro. Manual de diseño de subestaciones

[Transformadores de instrumentos. Recuperado de
<http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/5.pdf>]

C. Russell Mason. The Art & Science of protective relaying.

ANEXOS

1 Condiciones particulares de venta.

En esta sección de la oferta se enlistan las condiciones bajo las cuales se va a realizar la venta del equipo, se enlistan las responsabilidades de la empresa al momento de realizar la venta y las responsabilidades del comprador al momento de realizar la compra del equipo.

2 Precio

Los precios indicados en el apartado **OFERTA**, deben entenderse netos en USD y son válidos para MÉXICO. Precios unitarios solamente válidos para suministro completo de los productos, en caso contrario, será necesaria una nueva revisión del precio.

Los Impuestos e IVA no están incluidos

Fianzas no incluidas, en caso de requerirse, se cobrarán por separado.

3 Incoterms

DDP Veracruz sobre camión (descarga no incluida), suponiendo los accesos adecuados.

4 Exclusiones

En general, cualquier elemento/producto/servicio que no esté detallado en el apartado **DESCRIPCIÓN TÉCNICA**.

Realización y conexión de líneas de MT así como confección de bornas procedentes del exterior de los equipos a suministrar.

Cualquier tipo de obra civil

Elementos de seguridad

Legalizaciones (Proyectos, Visados, Tasas, etc...)

Permisos de circulación especial, cortes de tráfico.

Solicitudes y trámites de descargos

Interconexiones exteriores a las celdas tanto de potencia, control y alimentación, incluso las de unión de barras longitudinal cuando éstas se hagan con cable

Protecciones, mediciones y pruebas no indicadas en el apartado **DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

5 Validez de la oferta

Esta oferta es válida durante 1 mes

6 Forma de pago

50 % del importe total anticipado contra pedido, 50 % restante contra aviso de embarque y disponibilidad de los materiales previa entrega de los mismos.

En caso de demora en el pago de los equipos (a partir del 5º día laborable a contar desde el aviso de cobro), se aplicará un sobre coste del 2 % semanal sobre el importe total del pedido hasta un máximo del 20 %.

7 Facturación

La facturación y pago deberá ser en la misma moneda que aparece en el apartado **OFERTA USD**.

El tipo de cambio será el interbancario del día del depósito.

8 Entrega de equipo

DDP: 15 semanas laborables (*)

(*) El plazo de entrega empezará a transcurrir a partir de:

1. Recibido y aprobado su pedido original por Ormazabal, así como pago del anticipo correspondiente.
2. Dibujos aprobados en caso de requerirlos.
3. Aprobación de los esquemas eléctricos
4. Orden y disposición de las celdas.
5. Definición de enclavamientos.
6. Relación y potencias de precisión de los transformadores de medida (en su caso).
7. Número y características de los cables de potencia.
8. No debe considerarse:
 - a. 1ª quincena de enero.
 - b. Semanas Santa y Semana de Pascua.
 - c. Todo Agosto.
 - d. 2ª quincena de diciembre.

En caso de requerir transportación aérea (conllevará sobre coste), el tiempo de entrega DDP se reducirá de 2-3 semanas laborables (en función del material).

El plazo de entrega se podrá reducir en función del alcance del pedido y la necesidad del COMPRADOR/CLIENTE. A consultar en el momento de proceder con la Orden de Compra.

Cualquier circunstancia fuera del alcance de Ormazabal (condiciones meteorológicas adversas, retrasos líneas portuarias/aeroportuarias, despachos aduanales, maniobras en puerto/aeropuerto, bloqueos, huelgas, etc...) puede afectar al tiempo de entrega acordado.

9 Almacenamiento

Si los equipos se encuentran listos para proceder a su suministro y el COMPRADOR/CLIENTE no da la autorización para su entrega en un plazo de 15 días naturales o no llega a un acuerdo con Ormazabal para que sean almacenados en sus instalaciones en unas condiciones pactadas, todos los gastos ocasionados por el almacenaje así como los movimientos generados, evaluados a criterio de Ormazabal, serán a cargo del COMPRADOR/CLIENTE, a quien se le transferirá todos los riesgos que pudieran sufrir el material almacenado. Transcurridos 60 días naturales desde el comienzo de almacenamiento, en caso de que el COMPRADOR/CLIENTE no hubiese abonado el importe total de los materiales, ORMAZABAL podrá hacer uso de dichos equipos para otros proyectos, perdiendo el COMPRADOR/CLIENTE cualquier derecho sobre los mismos y teniendo que lanzar una nueva Orden de Compra y pago si quieren finalmente el suministro.

Se deberá cumplir en todo momento las condiciones de almacenaje que aparecen descritas en las Instrucciones Generales de los equipos, las cuales se pueden obtener a través de la página web de Ormazabal www.ormazabal.com.

10 Embalaje

El embalaje incluido es estándar a base de palet de madera, cantoneras de porexpan y film transparente.

Si los bienes no fuesen acomodables en contenedor se considerarán cargos de embalaje por separado de la oferta

En caso de requerir otro tipo de embalaje, favor de consultar.

11 Garantía

Todos los productos incluidos en esta oferta están cubiertos por la garantía estándar de Ormazabal ante posibles fallos de fabricación durante 24 meses desde la entrega o 18 meses desde la puesta en marcha de los equipos, lo que antes ocurra.

En caso de requerir una garantía adicional, será cotizada aparte.

12 Cancelaciones y penalizaciones

Debido a las características de los equipos, Ormazabal no acepta cancelaciones ni penalizaciones por lo que no se aceptará ninguna penalización por retrasos en la entrega del material.

13 Fuerza mayor

Ormazabal no será responsable por la ejecución defectuosa o no ejecución de cualquier acuerdo, por causa de fuerza mayor, en su más amplio sentido.

Se entenderá por fuerza mayor, cualquier circunstancia fuera del control de Ormazabal que impida, temporal o permanente, la ejecución/entrega de todas o alguna de las obligaciones de Ormazabal frente al comprador, independientemente de que estas circunstancias se hayan o no previsto en el momento de la conclusión de un pedido, acuerdo, contrato, etc..., tales como, y sin limitación: medidas gubernamentales, rechazo, revocación o anulación de permisos, cierre empresarial, el cierre obligado de toda o parte de la empresa, guerra o amenaza de guerra, fuego, problemas de transporte, aduanas, accidente, disturbios laborales, huelgas, falta de personal, desastres naturales, condiciones meteorológicas, embargos, no entrega temporal o permanente de muestras, no prestación de servicios por terceros sin tener en cuenta su causa, defectos y/o averías en material, maquinaria, sistemas y/o software y hardware, ausencia o falta de material con los que se fabrican los Productos.

Si Ormazabal no pudiera efectuar la entrega como consecuencia de un supuesto de fuerza mayor, podrá a su libre elección, o bien extender el periodo de entrega durante el plazo de fuerza mayor o a resolver el Acuerdo, así como a exigir el pago por la entrega parcial efectuada, sin estar obligado a pagar ningún daño o compensación al cliente.