



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA)
DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S. A.**

Luis Fernando Sulá Sul

Asesorado por el Ing. José Luis Contreras González

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA)
DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS FERNANDO SULÁ SUL

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ LUIS CONTRERAS GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Luis Pérez Rivera |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Galvez Castillo |
| EXAMINADOR | Ing. Francisco Javier González López |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha enero de 2012.



Luis Fernando Sulá Sul

Guatemala, 24 de enero de 2014

Ingeniero:

Silvio José Rodríguez Serrano

Director UNIDAD DE EPS

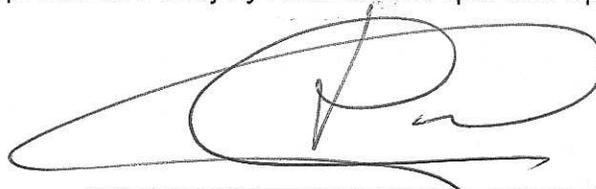
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de ingeniería, USAC.

Estima ingeniero

Atendiendo a la designación que se me hiciera como asesor del trabajo de graduación titulado "SUBESTACION ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S.A." desarrollado por el estudiante Luis Fernando Sulá Sul, después de revisar su contenido, me permito informarle que el trabajo satisface el protocolo propuesto.

Por lo anteriormente mencionado, junto con el estudiante me hago responsable del contenido del presente trabajo y recomiendo que sea aprobado.



Ing. Jose Luis Contreras Gonzalez

No de colegiado 1144



José Luis Contreras González
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 1144



Guatemala, 14 de mayo de 2014.
Ref.EPS.DOC.568.05.14.

Ing. Juan Merck Cos
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Merck Cos.

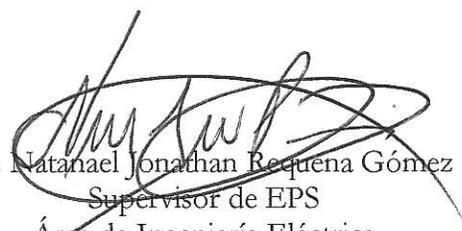
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Fernando Sulá Sul** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **200011612**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S.A.”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra



Guatemala 14 de mayo de 2014.
Ref.EPS.D.260.05.14.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Luis Fernando Sulá Sul**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. José Luis Contreras González y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 20.2014
Guatemala, 20 de mayo 2014.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO
BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14
DIELCOM, S.A.,** del estudiante **Luis Fernando Sulá Sul**, que
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. **Francisco Javier González López**
Coordinador Área Potencia

sro





REF. EIME 20. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; LUIS FERNANDO SULÁ SUL titulado: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S.A., procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 21 DE MAYO 2014.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

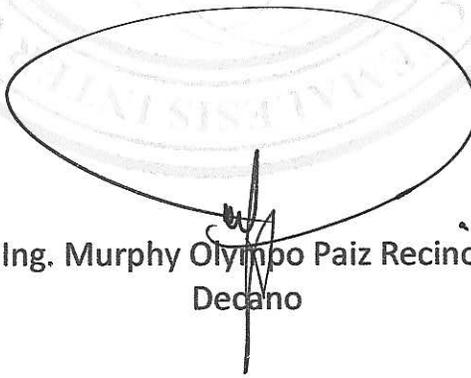


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 487.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **SUBESTACIÓN ELÉCTRICA Y ALIMENTADORES (DUCTO BARRA) DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS TORRE 14 DIELCOM, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Fernando Sulá Sul**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 18 de septiembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dios | Por darme la sabiduría para conseguir mis metas. |
| Mis padres | Maria Dominga Sul Rabay (q.e.p.d.) y Emeterio Sulá Solis (q.e.p.d.), su amor será siempre mi inspiración. |
| Mis hermanos | Carlos y Maria Alicia Sulá Sul, por su paciencia, comprensión y apoyo. |
| Mis sobrinas | Melany Itzel y Leila Estefania Sulá Felipe. |
| Mi cuñada | Patricia Felipe, por su apoyo. |
| Mis amigos | Por los buenos momentos compartidos y su apoyo incondicional. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser un centro educativo forjador de profesionales. |
| Facultad de Ingeniería | Por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente. |
| Mis amigos de la Facultad | Omar Tazen, José Imuchac, César Ajuchan, Julio Raczan, Álvaro Rucal, Alicia Guadalupe Alvarez, Henry Muhun, Edwin Burrión, Marvin Orlando Yancis, José Francisco Chalí. |
| Mi asesor | Ing. José Luis Contreras González, por el apoyo brindado para la culminación de este trabajo. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------------------------------------|------|
| INDICE ILUSTRACIONES | VII |
| LISTA DE SIMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA..... | 1 |
| 1.1. Subestación eléctrica para edificios | 2 |
| 1.2. Tipos de subestaciones eléctricas | 2 |
| 1.2.1. Subestaciones tipo interior | 2 |
| 1.2.2. Subestaciones tipo blindado..... | 2 |
| 1.3. Componentes de una subestación..... | 3 |
| 1.3.1. Transformador de potencia..... | 3 |
| 1.3.1.1. Características generales para | 3 |
| transformadores de potencia | 3 |
| 1.3.1.2. Transformador de potencia tipo seco | 6 |
| 1.3.1.2.1. Partes del | |
| transformador | 6 |
| 1.3.2. Protecciones de una subestación..... | 7 |
| | |
| 2. NORMAS APLICABLES AL DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA | |
| SUBESTACIÓN | 9 |
| 2.1. Normas del Código Eléctrico Nacional (NEC) | 9 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.1. | Artículo 110. Requisitos de las instalaciones eléctricas | 9 |
| 2.1.2. | Artículo 408.2. Ubicación de los tableros distribución | 11 |
| 2.1.3. | Artículo 384-7. Ubicación con relación a materiales fácilmente combustibles | 11 |
| 2.1.4. | Artículo 384-8 (a). Separación desde el techo | 11 |
| 2.1.5. | Artículo 384-9. Aislamiento de los conductores | 11 |
| 2.1.6. | Artículo 384-11. Puesta a tierra de los marcos de los tableros de distribución | 12 |
| 2.1.7. | Artículo 450. Transformadores y bóvedas..... | 12 |
| 2.1.8. | Artículo 924. Subestaciones..... | 14 |
| 2.1.9. | Artículo 240. Protección contra sobrecorriente | 15 |
| 2.1.10. | Artículo 310. Conductores..... | 15 |
| 2.1.11. | Artículo 374. Canales auxiliares..... | 16 |
| 2.2. | Normas de EEGSA..... | 16 |
| 2.2.1. | Requisitos de construcción para baja tensión | 16 |
| 3. | NORMAS APLICABLES AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO BARRA | 23 |
| 3.1. | Normas de construcción | 23 |
| 3.1.1. | Principales normas relacionadas con la construcción del ducto barra según la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos NEMA | 23 |
| 3.1.1.1. | Caída de tensión | 23 |
| 3.1.1.2. | Condiciones inusuales de servicio | 24 |
| 3.1.1.3. | Resistencia, reactancia e impedancia..... | 26 |

| | | | |
|------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | 3.1.1.4. | Capacidades de corto circuito..... | 26 |
| 3.2. | | Normas de diseño | 27 |
| | 3.2.1. | Normas relacionadas con la instalación del ducto barra de baja tensión según el Código Eléctrico Nacional (NEC) | 28 |
| | 3.2.1.1. | Artículo 368.10. Usos permitidos | 28 |
| | 3.2.1.2. | Artículo 368.12. Usos no permitidos..... | 29 |
| | 3.2.1.3. | Artículo 368.17. Protección contra sobrecorrientes..... | 30 |
| | 3.2.1.4. | Artículo 368.30. Soportes | 31 |
| | 3.2.1.5. | Artículo 368.56. Ramales desde el ducto barra | 31 |
| | 3.2.1.6. | Artículo 368.58. Terminales muertas ... | 32 |
| | 3.2.1.7. | Artículo 368-60. Toma de tierra | 32 |
| | 3.2.1.8. | Artículo 368.120. Marcas | 32 |
| 4. | | DISEÑO DEL PROYECTO | 33 |
| | 4.1. | Diseño del ducto barra | 33 |
| | 4.1.1. | Lista de piezas del ducto barra..... | 35 |
| | 4.2. | Diseño de la subestación | 38 |
| | 4.2.1. | Cálculo de capacidad del transformador | 38 |
| | 4.2.2. | Transformador tipo seco..... | 39 |
| | 4.2.3. | Normas aplicables al transformador tipo seco..... | 40 |
| | 4.2.3.1. | Condiciones generales | 40 |
| | 4.2.3.2. | Requisitos básicos para la instalación | 41 |
| | 4.2.4. | Niveles de voltaje en el lado primario del transformador | 42 |

| | | |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.5. | Niveles de voltaje en el lado secundario del transformador..... | 42 |
| 4.2.6. | Tipos de conexiones para el transformador | 43 |
| 4.2.7. | Lista de equipo de la subestación | 43 |
| 4.2.8. | Diagrama unifilar | 45 |
| 4.2.9. | Sistema de tierra | 46 |
| 4.2.10. | El pararrayos..... | 49 |
| 5. | EQUIPOS UTILIZADO EN LOS ALIMENTADORES | 51 |
| 5.1. | Panel múltiple de contadores | 51 |
| 5.2. | Conductores | 54 |
| 5.2.1. | Características del cable a utilizar..... | 56 |
| 5.3. | Tableros de distribución..... | 58 |
| 6. | FORMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE LA RED ... | 63 |
| 6.1. | Procedimiento para la solicitud de servicio | 63 |
| 6.2. | Requisitos para la solicitud de una extensión de red..... | 64 |
| 6.3. | Condiciones para la prestación de servicio dentro de la franja obligatoria del suministro de EEGSA | 65 |
| 6.4. | Forma de diseño para la aprobación de la red, según la opción elegida | 67 |
| 6.5. | Consideraciones técnicas para la construcción del proyecto ... | 70 |
| 6.5.1. | Criterios de diseño | 70 |
| 6.5.2. | Información de campo..... | 71 |
| 6.5.3. | Media tensión (MT) | 72 |
| 6.5.4. | Baja tensión (BT) | 72 |
| 6.5.5. | Centro de transformación de distribución..... | 73 |
| 6.5.6. | Protecciones | 73 |
| 6.5.7. | Conductores..... | 73 |

| | | |
|-----------------------|----------------------------------------|----|
| 6.5.8. | Acometida..... | 74 |
| 6.5.9. | Elaboración de planos | 74 |
| 6.5.10. | Revisión y aprobación de diseños | 75 |
| CONCLUSIONES | | 77 |
| RECOMENDACIONES | | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 81 |
| APÉNDICE..... | | 83 |

ÍNDICE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|------------------------------------------|----|
| 1. | Transformador tipo seco | 7 |
| 2. | Subestación con medición secundaria..... | 18 |
| 3. | Isometrico del ducto barra..... | 37 |
| 4. | Transformador seco (vista frontal) | 40 |
| 5. | Transferencia automática..... | 44 |
| 6. | Diagrama unifilar | 45 |

TABLAS

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. | Distancias de trabajo | 10 |
| II. | Factor de correccion de la capacidad de conducción por efector de la temperatura | 24 |
| III. | Condiciones inusuales de servicio del ducto barra | 25 |
| IV. | Capacidades interruptivas minimas del ducto barra | 27 |
| V. | Listado de piezas del ducto barra..... | 36 |
| VI. | Radio de protección de pararrayos..... | 50 |
| VII. | Capacidad de corriente de conductores de cobre en amperes | 57 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|----------------------------|
| A | Amperio |
| BT | Baja tensión |
| CEI | Comité Eléctrico Nacional |
| CA | Corriente alterna |
| FP | Factor de potencia |
| °C | Grado centígrado |
| HZ | Hertz |
| Sf6 | Hexafloruro de azufre |
| Z | Impedancia |
| KV | Kilovoltio |
| MT | Media tensión |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |
| MCM | Milicircularmils |
| Mm² | Milímetro cuadrado |
| NBI | Nivel básico al impulso |
| Ω | Ohmios |
| PVC | Policloruro de vinilo |
| % | Porcentaje |
| ρ | Resistividad |
| TC's | Transformador de corriente |
| V | Voltio |

GLOSARIO

| | |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANSI | American National Standard Institute (Instituto Nacional de Normas Americanas). |
| Corriente nominal | Es el valor de la corriente máxima para la cual el equipo fue diseñado y debe funcionar en condiciones normales sin que sufra daños. |
| Dieléctrico | Es un material aislante, que cuando se coloca entre conductores a diferentes potenciales permite que fluya por solo una despreciable corriente en fase con el voltaje. |
| DME | Demanda máxima estimada. |
| Ducto eléctrico | Es el espacio físico donde se instalan los equipos eléctricos. |
| EGGSA | Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. |
| IEEE | Institute Eléctrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). |

| | |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEMA | National Eléctrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes de Productos). |
| NEC | Código Eléctrico Nacional. |
| Norma | Es una regla que define una serie de pasos que se deben seguir para realizar determinada operación. |
| Potencia eléctrica | Es la cantidad de energía entregada o absorbida por un componente eléctrico en un determinado tiempo. |
| Sistema de distribución | Conjunto de componentes eléctricos utilizados para la eficiente distribución de la energía eléctrica desde la fuente de alimentación hasta los consumidores. |
| Sistema eléctrico | Constituyen una serie de componentes eléctricos o electrónicos conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales eléctricas. |
| Transformador eléctrico | Dispositivo eléctrico encargado de subir o bajar los niveles de voltaje al valor deseado. |

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación trata sobre el diseño de la subestación eléctrica y alimentadores (ducto barra) de un edificio. La subestación eléctrica es una parte importante del sistema eléctrico, ya que está destinada a modificar y establecer los niveles de tensión con el fin de facilitar el transporte y la distribución de la energía eléctrica a través de los alimentadores.

El primer capítulo contiene la definición de subestación eléctrica, los tipos de subestaciones que existen, así como las partes y protecciones. En el segundo capítulo se presentan las normas aplicables al diseño y construcción de una subestación.

El tercer capítulo trata sobre las normas aplicables al diseño y construcción del ducto barra. En el cuarto capítulo se presenta el desarrollo del diseño del proyecto, cálculo de la capacidad del transformador, tipo de transformador y cálculo de los alimentadores (ducto barra).

En el quinto capítulo se hace una descripción de los equipos utilizados en los alimentadores; como por ejemplo los paneles múltiples de contadores, los conductores, tableros de distribución.

El sexto y último capítulo trata sobre el procedimiento para la aprobación, solicitud de servicio, extensión de red y consideraciones técnicas para la construcción del proyecto.

OBJETIVOS

General

Diseñar la subestación eléctrica y alimentadores (ducto barra) del edificio de apartamentos torre 14 de manera que sea segura y eficiente.

Específicos

1. Presentar los fundamentos de una subestación eléctrica y los equipos que conlleva.
2. Mostrar las normas técnicas aplicables al diseño y construcción de una subestación eléctrica.
3. Explicar las normas aplicables al diseño y construcción del ducto barra.
4. Dar a conocer el diseño del proyecto.
5. Exponer los equipos utilizados en los alimentadores.
6. Mostrar la forma y procedimiento para la aprobación de la red.

INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico es una de las partes vitales de los sistemas habitacionales, entre los que se tienen de edificios de apartamentos, estos por la forma de construcción necesita un diseño que se acople a este, de manera que sea eficiente y económico.

La subestación eléctrica es una de las partes más importantes ya que será la encargada de reducir el voltaje primario de 13,2 KV a 120/208 V por medio del transformador, este es uno de los valores de tensión disponibles en la red de distribución de la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), una de las distribuidoras de energía de la región central. El voltaje secundario será de 120/208 V, el que necesita el usuario y será distribuido a todo el edificio, hacia los departamentos, por medio del ducto barra, el cual es un sistema prefabricado de distribución de energía.

Se presentarán las normas aplicables al diseño y construcción de la subestación eléctrica, así como al ducto barra. También las normas que apliquen a la acometida eléctrica según la Empresa Eléctrica de Guatemala.

1. LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica es un conjunto de componentes eléctricos destinada a modificar los niveles de tensión, con el propósito de facilitar el transporte y la distribución de energía eléctrica; brindando seguridad para el sistema eléctrico, equipo y personal de operación y mantenimiento.

Una de las partes principales de la subestación es el transformador, este invento desarrolló y eliminó para siempre las restricciones sobre el alcance y la magnitud de potencia de los sistemas eléctricos. Ya que un transformador, concebido idealmente, cambia un nivel de voltaje de corriente alterna (C.A.) en otro nivel de voltaje, sin alterar la potencia recibida. Si un transformador eleva el voltaje de un circuito, deberá disminuir la corriente para que la potencia que entra al dispositivo se mantenga igual a la que sale de él.

Por lo anterior, permite que la potencia eléctrica de C.A. generada en una central, sea elevado a un nivel de voltaje para la transmisión a largas distancias con pérdidas muy pequeñas y por último, que se pueda disminuir el voltaje para la utilización final. Como las pérdidas de transmisión en las líneas de un sistema de potencia son proporcionales al cuadrado de la corriente de línea, al incrementar el voltaje de transmisión y reducir la corriente correspondiente en un factor de 10 mediante transformadores, reduce las pérdidas en un factor de 100. Sin el transformador, simplemente sería imposible utilizar la energía eléctrica en muchas de las formas en que se emplea hoy en día.

1.1. Subestación eléctrica para edificios

En edificios se utilizan generalmente subestaciones tipo interior, en estos los dispositivos eléctricos están diseñados para trabajar en interiores. Son subestaciones reductoras de voltaje, se alimenta de las líneas de media tensión a 13,2 kV y la reduce a bajo voltaje mediante bancos de transformadores o transformadores trifásicos con secundarios 120/240 V, 120/208 V, entre otros, estas tensiones son las que alimentan los tableros de distribución para los diferentes tipos de cargas.

1.2. Tipos de subestaciones eléctricas

Dependiendo de la utilización o de la función que realicen, las subestaciones se pueden clasificar en subestaciones elevadoras, reductoras, de enlace, de *switchero*, tipo intemperie, tipo interior, entre otros.

1.2.1. Subestaciones tipo interior

En este tipo de subestaciones los equipos y máquinas están diseñados para operar en interiores, generalmente utilizados en edificios y en la industria.

1.2.2. Subestaciones tipo blindado

En estas subestaciones los aparatos y las máquinas están bien protegidos y el espacio necesario es muy reducido, generalmente utilizados en fábricas, hospitales, edificios y centros comerciales que requieren poco espacio para la instalación.

1.3. Componentes de una subestación

Los equipos en las subestaciones eléctrica son muy importantes, ya que de esto depende la calidad y el servicio de la energía eléctrica. Uno de los componentes más importantes y esenciales es el transformador de potencia.

1.3.1. Transformador de potencia

Son los encargados de transformar el voltaje del sistema de un nivel a otro y deben ser capaces de transportar el flujo de potencia en forma continua hacia una parte particular del sistema o hacia la carga. Para cumplir con este requerimiento, resulta que el transformador de potencia es el equipo más grande, pesado, complejo y también el más costoso de los equipos usados en una subestación eléctrica.

Los transformadores se deben diseñar para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m. En caso de que la altura de operación sea mayor se deberá aplicar los factores de corrección que va a depender del tipo de enfriamiento utilizado. En porcentaje oscilan entre 0 y 0,5, de tal manera que los transformadores mantengan a la altitud indicada, las capacidades nominales y niveles de aislamientos.

1.3.1.1. Características generales para transformadores de potencia

Las principales características de los transformadores vienen dadas por los fabricantes en la denominada placa de características; donde se especifican entre otras cosas, la potencia, las tensiones, las corrientes, etc.

- Tensión nominal

Las tensiones nominales de un transformador son aquellas a las que se refieren las características de operación y mantenimiento.

- Tensión nominal de un devanado

Es la tensión que debe ser aplicada o inducida en vacío, entre las terminales de un transformador. Las tensiones más comunes que se utilizan son:

- 13,8 kV
- 34,5 kV
- 69 kV
- 115 kV

- Relación de transformación y tolerancia

La relación de transformación está basada en la relación de las tensiones y sujeta al efecto de la regulación a diferentes cargas y factores de potencia.

La tolerancia para la relación de transformación, medida cuando el transformador está sin carga, debe ser de $\pm 0,5\%$ en todas las derivaciones. Si la tensión por vuelta excede de $0,5\%$ de la tensión deseada, las tensiones de las derivaciones deben corresponder a la tensión de la vuelta próxima.

- Corriente nominal

Es la corriente que fluye a través de una terminal de un devanado, dividiendo la capacidad nominal del devanado entre la tensión nominal del mismo.

- Frecuencia nominal

La frecuencia a la cual deben operar los transformadores y autotransformadores debe ser de 60 Hz. Existen sistemas en otros países a 50 Hz.

- Capacidad nominal

La capacidad nominal de los transformadores es el kilovoltampere (kVA) continuo que el devanado secundario del mismo debe suministrar a la tensión y frecuencia nominal.

- Impedancia nominal

La impedancia se expresa generalmente en porcentaje de la tensión de impedancia (caída de tensión) con respecto a la tensión nominal.

La tolerancia de la impedancia deberá ser la siguiente:

- La impedancia de un transformador de 2 devanados con un valor en porcentaje de impedancia superior al 2,5 % debe tener una tolerancia de +- 7,5 % del valor especificado. Cuando se especificuen transformadores de dos devanados con un valor en porcentaje de impedancia menor a 2,5 % debe tener una tolerancia de +-10 % del valor especificado.

1.3.1.2. Transformador de potencia tipo seco

En la mayoría de los lugares donde las personas viven y trabajan, se puede encontrar al menos un transformador. Mucho más accesibles para el usuario final, los transformadores secos pueden instalarse cerca del lugar de utilización, lo que permite optimizar el diseño de instalación reduciendo al máximo los circuitos de baja tensión, con el consiguiente ahorro en pérdidas y conexiones de baja tensión. Son los transformadores idóneos para funcionar en ambientes que presenten una humedad superior al 95 % y en temperaturas por debajo de los -25 °C.

1.3.1.2.1. Partes del transformador

Entre las partes del transformador se tiene el núcleo magnético el cual está construido con uniones y capas escalonadas para garantizar un rendimiento óptimo y unos niveles de ruido mínimos. Otra de las partes del transformador es el devanado de alta tensión, el cual consta de un disco descendente continuo con conductor de cinta de aluminio y aislamiento de doble capa. Los devanados están colados al vacío con resina epoxi.

Los devanados de baja tensión están hechos de banda de aluminio y de una banda aislante previamente impregnada con resina. Después del proceso de devanado la bobina se endurece en un horno y como consecuencia se obtiene un devanado extremadamente compacto, capaz de resistir los esfuerzos dinámicos que produce un cortocircuito.

Figura 1. **Transformador tipo seco**



Fuente: Subestación eléctrica del edificio Torre 14.

1.3.2. Protecciones de una subestación

Un sistema de protecciones tiene como función principal detectar cuando sucede un cortocircuito del sistema de potencia al elemento en cual ocurrió la falla, para disminuir el daño en el mismo equipo y las interrupciones del servicio.

Entre los tipos de protecciones se tienen:

- Protección de sobrecorriente direccional
- Protección diferencial
- Protección por comparación de fase

2. NORMAS APLICABLES AL DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN

2.1. Normas del Código Eléctrico Nacional (NEC)

El Código Eléctrico Nacional (NEC) es un estándar estadounidense para la instalación segura de alumbrado y equipos eléctricos. Es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la National Fire Protection Association (NFPA). A continuación se describen algunos de los artículos de este código que fueron aplicados en el diseño.

2.1.1. Artículo 110. Requisitos de las instalaciones eléctricas

“Este artículo cubre los requisitos generales para el examen y aprobación, instalación y uso, así como el acceso hacia y espacios sobre conductores y equipo eléctrico.”

- “Artículo 110.26(a). Distancias de trabajo

Excepto si se exige o se permite otra cosa en esta norma, la medida del espacio de trabajo en dirección al acceso a las partes vivas que funcionan a 600 V nominales o menos a tierra y que pueden requerir examen, ajuste, servicio o mantenimiento mientras estén energizadas no deben ser inferiores a la indicada en la tabla II. Las distancias deben medirse desde las partes vivas, si están expuestas o desde el frente o abertura de la envolvente si están encerradas. Las paredes de concreto, ladrillo o azulejo deben de considerarse conectadas a tierra.

Además de las dimensiones expresadas en la tabla II, el espacio de trabajo no debe ser menor a 80 cm. de ancho delante del equipo eléctrico. El espacio de trabajo debe estar libre y extenderse desde el piso o plataforma hasta la altura exigida por esta sección.

En todos los casos, el espacio de trabajo debe permitir abrir por lo menos 90° las puertas o paneles abisagrados del equipo. Dentro de los requisitos de esta sección, se permite equipo que tenga distancias, como la profundidad, iguales a los de la altura requerida.”

Tabla I. Distancias de trabajo

| Tensión eléctrica nominal a tierra (V) | Distancia libre mínima (m) | | |
|----------------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | Condición 1 | Condición 2 | Condición 3 |
| 0-150 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| 151-600 | 0.90 | 1.1 | 1.2 |

Las condiciones son las siguientes:

1. Partes vivas expuestas en un lado y no vivas ni conectadas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes vivas expuestas a ambos lados protegidas eficazmente por madera u otros materiales adecuados. No se consideran partes vivas los cables o barras aislados que funciona a 300 V o menos.
2. Partes vivas expuestas a un lado y conectadas a tierra al otro lado.
3. Partes vivas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no protegidas como está previsto en la condición 1), con el operador entre ambas.

Fuente: *Código Eléctrico Nacional*. p. 35.

2.1.2. Artículo 408.2. Ubicación de los tableros distribución

“Los tableros de distribución que tengan partes vivas expuestas deben estar ubicados en lugares permanentemente secos, donde estén vigilados y sean accesibles solo a personas calificadas.”

2.1.3. Artículo 384-7. Ubicación con relación a materiales fácilmente combustibles

“Los tableros de distribución se deben instalar de modo que la probabilidad de que transmitan el fuego a materiales combustibles adyacentes sea mínima.”

2.1.4. Artículo 384-8 (a). Separación desde el techo

“En los tableros de distribución que no estén totalmente cerrados se debe dejar un espacio desde la parte superior del tablero hasta cualquier techo combustible, no menor a 90 cm. excepto si se instala una cubierta no combustible entre el tablero y el techo.”

2.1.5. Artículo 384-9. Aislamiento de los conductores

“Cualquier conductor aislado que se utilice dentro de un tablero de distribución debe estar aprobado y listado, ser resistente a la propagación de la flama y tener una tensión eléctrica nominal no menor a la que vaya soportar y no menor a la tensión eléctrica aplicada a otros conductores o barras colectoras con las que pueda estar en contacto.”

2.1.6. Artículo 384-11. Puesta a tierra de los marcos de los tableros de distribución

“Los marcos de los tableros de distribución y las estructuras que soportan los elementos de desconexión deben estar puestos a tierra.”

2.1.7. Artículo 450. Transformadores y Bóvedas

“Este artículo describe la instalación de todos los transformadores, también describe la instalación de transformadores en lugares peligrosos (clasificados).”

- “Artículo 450-9. Ventilación

La ventilación debe ser adecuada para disipar las pérdidas a plena carga del transformador, sin que se produzca un aumento de la temperatura que exceda la nominal del transformador (véase ANSI/IEEE C57.12,00-1 993 Y ANSI/IEEEEC C57.12,01-1 989.)”

- “Artículo 450-10. Puesta a tierra

Las partes metálicas de las instalaciones de transformadores, que no transporten corriente y estén expuestas, incluyendo las cercas, resguardos, etc., se deben poner a tierra.”

- “Artículo 450-41. Ubicación

Las bóvedas deben ubicarse donde puedan ser ventiladas al aire exterior sin uso de tubo extractores o conductos, siempre que sea posible.”

- “Artículo 450-42. Paredes, techos y piso

Las paredes y el techo de las bóvedas deben construirse de materiales que tengan la resistencia estructural adecuada a las condiciones que puedan presentarse y una resistencia mínima al fuego de tres horas. Los pisos de las bóvedas en contacto con la tierra deben ser de concreto de un espesor mínimo de 10 cm. y cuando la bóveda se construya sobre un espacio libre o arriba de otros pisos, el piso debe tener la adecuada resistencia estructural para la carga soportada y una resistencia mínima al fuego de tres horas. Para los propósitos de esta sección no se permiten construcciones atornilladas ni con paredes de paneles. Una construcción típica que posee una resistencia al fuego de tres horas es una construcción de concreto reforzado de 15 cm. de espesor.”

- “Artículo 450-43(a). Tipo de puerta

Cada espacio que conduzca a una bóveda desde el interior de un inmueble debe estar provisto de una puerta de cierre hermético, de un tipo que tenga resistencia mínima al fuego de tres horas.”

- “Artículo 450-45. Abertura de ventilación

Donde lo exija la Sección 450-9. Además debe proveerse aberturas de ventilación de acuerdo a lo siguiente:

- Ubicación. Las aberturas de ventilación deben ubicarse lo más lejos posibles de puertas, ventanas, salidas de incendios y materiales combustibles.

- Disposición. Una bóveda ventilada por una circulación natural de aire puede tener la mitad, aproximadamente, del área total de aberturas necesarias para la ventilación en una o mas aberturas cerca del suelo y el resto en una o mas aberturas en el techo o en las paredes cerca del techo; toda el área que se requiera para la ventilación se permite en una o mas aberturas en o cerca del techo.
- Tamaño. En el caso de bóvedas con ventilación natural hacia el exterior, el área neta combinada de todas las aberturas de ventilación, después de restar áreas ocupadas por pantallas, rejas o celosías, no debe ser menor de 20 cm² por cada KVA de capacidad de los transformadores en servicio, excepto el caso de transformadores de capacidad menor de 50 KVA, donde el área neta no debe ser menor de 9.30 cm².”

- “Artículo 450-48. Almacenamiento dentro de las bóvedas

No deben almacenarse materiales dentro de las bóvedas de transformadores.”

2.1.8. Artículo 924. Subestaciones

- “Artículo 924-8(a). Extintores

Deben colocarse extintores, tantos como sean necesarios en lugares convenientes y claramente marcados situando dos, cuando menos, en puntos cercanos a la entrada de las subestaciones. Para esta aplicación se permiten extintores de polvo químico seco.

Los extintores deben revisarse periódicamente para que estén permanentemente en condiciones de operación y no deben estar sujetos a cambios de temperaturas mayores que los indicados por el fabricante.”

2.1.9. Artículo 240. Protección contra sobrecorriente

- “Artículo 240-6. Capacidades nominales de corriente eléctrica normalizadas
 - Fusibles e interruptores de disparo fijo. Para la selección de fusibles y de interruptores de disparo inverso, se deben considerar los siguientes valores normalizados de corriente eléctrica nominal: 15 A, 20 A, 25 A, 30 A, 40 A, 45 A, 50 A, 60 A, 70 A, 80 A, 90 A, 100 A, 110 A, 125 A, 150 A, 175 A, 200 A, 225 A, 250 A, 300 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A, 600 A, 700 A, 800 A, 1000 A, 1200 A, 1600 A, 2000 A, 2500 A, 3000 A, 4000 A, 5000 A y 6000 A. Se consideran como tamaños nominales de fusibles de 1 A, 3 A, 6 A, 10 A, y 601 A.

Se permite el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con los valores de corriente nominal diferentes a valores indicados en este inciso.”

2.1.10. Artículo 310. Conductores

“Este artículo cubre los requisitos generales para conductores y sus designaciones de tipo, marcas, resistencias mecánicas, las calificaciones de ampacidad y usos.”

- “Artículo 310-15. Capacidad de conducción de corriente

Para la selección del tamaño nominal de los conductores, la capacidad de conducción de corriente de los conductores de 0 a 2 000 V nominales se debe considerar los valores especificados en la tabla de capacidad de conducción de corriente 310-6, la misma que se encuentra en el apéndice B del Código Eléctrico Nacional.”

2.1.11. Artículo 374. Canales auxiliares

- “Artículo 374-9(c). Bordes lisos y redondeados

Cuando los conductores pasen entre canales, a través de muros divisorios, alrededor de esquinas, entre canales y gabinetes o canales y cajas de conexiones y en otros lugares cuando fuera necesario para prever la abrasión de su aislante, se deben instalar boquillas, tubos o accesorios adecuados con bordes lisos y redondeados.”

2.2. Normas de EEGSA

Estas normas definen y regulan las instalaciones para el suministro del servicio de energía eléctrica a los usuarios finales y grandes usuarios de EEGSA.

2.2.1. Requisitos de construcción para baja tensión

La presente sección tiene por objeto definir los requisitos constructivos que cumplirá la persona que solicite un servicio nuevo en baja tensión, a través de la correspondiente red de baja tensión propiedad de EEGSA.

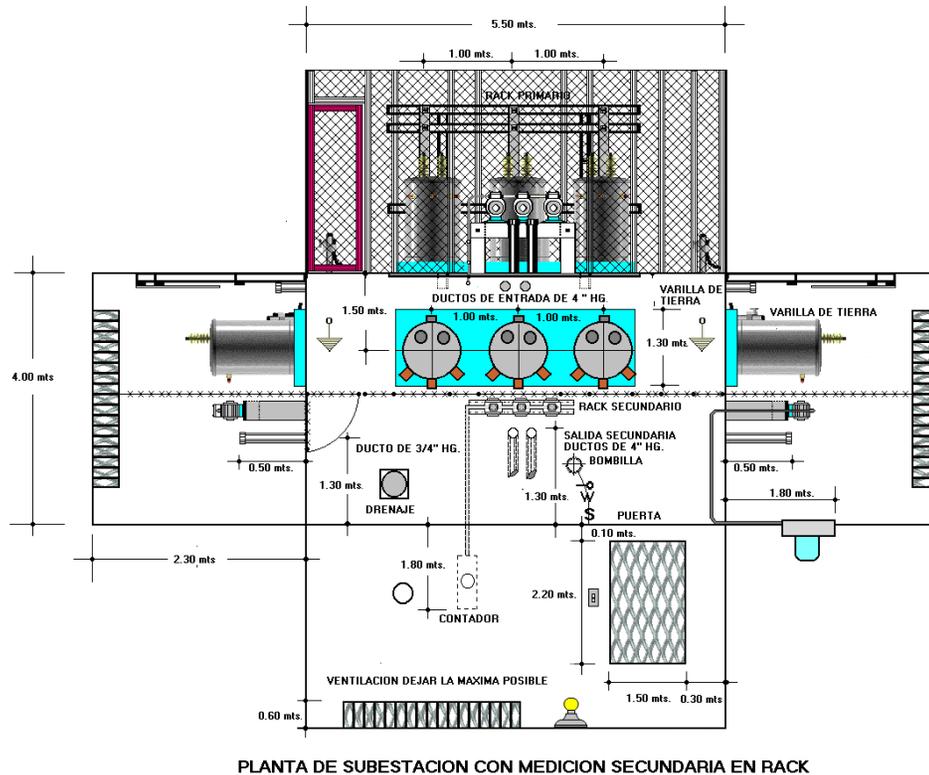
- “3. Suministro a cargas trifásicas individuales hasta 450 KW (500 KVA)”
- “3.3. Cargas trifásicas individuales mayores de 202,5 KW (225 KVA) y hasta 450 KW (500 KVA)

Quando la carga a conectarse se encuentre en este rango de valores, el servicio tiene que cumplir con los siguientes requisitos constructivos:

- La tensión de suministro podrá ser 120/240 voltios, 3 fases, delta, 4 conductores; 240/480 voltios, 3 fases, delta, 4 conductores ó 120/208 voltios, 3 fases, estrella, 4 conductores.
- El solicitante debe suministrar un local de su propiedad para instalar el centro de transformación tanto en el caso cuando EEGSA posea disponibilidad para la provisión del mismo o cuando el propio cliente lo suministre.
- El solicitante tiene que suministrar e instalar -la canalización desde el poste de bajada hasta el centro de transformación. La canalización será subterránea y constará de dos tubos conduit galvanizados Φ 4”, uno para el cableado de media tensión que suministrará e instalará EEGSA y otro de reserva.
- Los gastos correspondientes a la construcción de la obra civil y ductos de acceso son a cargo del solicitante.

- EEGSA suministrará los transformadores de corriente y el medidor. La altura de la caja del medidor debe ser 1,80 m \pm 10 cm medidos desde el nivel del suelo a la parte superior de la caja.
- El equipo de medida se instalará en un rack que estará ubicado dentro de las instalaciones del solicitante.

Figura 2. **Subestación con medición secundaria**



Fuente: EEGSA, *Manual de acometidas*, p. 47.

- El equipo de medición y el de transformación tienen que tener acceso desde la vía pública y estar provisto de puerta y cerradura normalizada por EEGSA de tal modo que facilite el mantenimiento, la lectura, inspección y verificación del equipo en el momento que EEGSA así lo decida, y sin necesidad de solicitar permiso previo a su ingreso.
- En los casos de suministro de energía eléctrica a Grandes Usuarios que realizan transacciones en el Mercado Mayorista, deberán cumplirse las disposiciones establecidas en la Norma de Coordinación Comercial No. 14, NCC-14, del Administrador del Mercado Mayorista.”
- “4. Suministro a varios consumidores (casos sobre edificios de apartamentos u oficinas, centros comerciales, almacenes integrados en un mismo lugar)

El servicio para cargas individuales a conectarse que sean monofásicas y/o trifásicas, y que coincida con la característica de estar en un mismo inmueble, se instalará cumpliendo con los requisitos constructivos y el procedimiento descrito a continuación:

- El requerimiento de servicio de energía eléctrica debe efectuarse antes de hacer la instalación y/o comprar e instalar equipo eléctrico, en virtud de que pueda coordinarse con EEGSA, todo lo referente a la instalación de los paneles de medidores.
- EEGSA hace el estudio técnicoeconómico el cual incluye:

- Definición del punto de entrega de energía eléctrica.
 - Condiciones económicas del suministro.
 - Punto de colocación del equipo de medida
-
- La tensión de suministro al panel de medidores será 120/208 voltios, 3 fases, estrella, 4 conductores.
 - Los servicios trifásicos individuales podrán ser 120/208 voltios, 3 fases, estrella, 4 conductores.
 - Los servicios monofásicos individuales podrán ser 120/208 voltios, 1 fase, estrella, 3 conductores.
 - Para el voltaje arriba indicado, EEGSA suministrará el centro de transformación y toda la infraestructura necesaria dentro de la franja obligatoria de 200 metros con líneas, postes, bajada primaria, etc.
 - Si el lugar donde se requiere el servicio (punto de entrega) se encuentra a una distancia mayor a 200 metros del poste de la red a la cual debe conectarse (punto de enganche), el solicitante tiene que construir por sus medios la red necesaria hasta aproximarse a 200 metros del punto de enganche. A partir de ahí, se construirá el resto de la red hasta el punto de entrega.
 - El solicitante tiene que consultar el procedimiento para “Conexión de Clientes Fuera del Área de los 200 metros”, que se proporcionará en cualquier Centro de Atención al Cliente de EEGSA.

- Los medidores de energía estarán concentrados en un panel múltiple de medidores el cual se ubicará a no más de 20 m del centro de transformación, en el interior de la instalación a la que sirve o a la intemperie contiguo a la misma.
- Si el panel se ubica a la intemperie, tiene que ir resguardado por una construcción cerrada, y provista con una puerta de malla y cerradura normalizados por EEGSA para su uso exclusivo.
- El panel de medidores deberá contar con libre acceso desde la vía pública de tal modo que se facilite la lectura, inspección y verificación del equipo en el momento que EEGSA así lo decida, y sin necesidad de solicitar permiso previo para su ingreso. No se permitirán paneles de medidores en niveles superiores.
- El solicitante tiene que proporcionar los locales para la instalación del centro de transformación y el panel múltiple de medidores.
- El solicitante tiene que suministrar e instalar los ductos y el cableado desde el panel múltiple de medidores hasta los bornes del lado de baja tensión del centro de transformación.
- La obra civil y material para la canalización, así como el panel múltiple de medidores estarán a cargo del solicitante.
- El panel de medidores tiene que estar construido de tal forma que acepte instalar equipo de medida trifásico.

- Existen varias opciones para la ubicación de los medidores dentro de las cuales se pactará con EEGSA la que mejor se adecue a las necesidades y características del proyecto.”

3. NORMAS APLICABLES AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO BARRA

3.1. Normas de construcción

En este capítulo se mencionarán las principales normas relacionadas con la construcción e instalación del ducto barra de baja tensión. Se recomienda consultar a las autoridades locales y a los fabricantes para conocer los requerimientos mas recientes para la correcta instalación del mismo.

3.1.1. Principales normas relacionadas con la construcción del ducto barra según la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos NEMA

La National Eléctrical Manufactures Association (NEMA) define al ducto barra como “un sistema de distribución eléctrica prefabricada que consta de barras dentro de una carcasa protectora, incluyendo tramos rectos, dispositivos y accesorios”.

3.1.1.1. Caída de tensión

“No hay requerimiento mínimos ni máximos para la caída de tensión ya que dichos valores dependen de muchos factores tales como: el diseño, el material conductor, la corriente nominal continua, el tamaño de la carga, el factor de potencia de la carga, la temperatura de operación, la longitud del tramo y la distribución de la carga.

En general, la caída de tensión entre línea y línea a plena carga, de un sistema trifásico de ducto barra, usualmente será menor de 6 voltios por cada 100 pies.”

3.1.1.2. Condiciones inusuales de servicio

“Para aplicaciones donde la temperatura ambiente es mayor de 40 grados centígrados, la capacidad nominal del ducto barra deberá ser disminuida en concordancia con las recomendaciones de los fabricantes, sinó se hará de la siguiente forma:

Tabla II. **Factor de corrección de la capacidad de conducción por efector de la temperatura**

| Temperatura ambiente en grados centígrados | Multiplicador |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| 40°C | 1.00 |
| 45°C | 0.95 |
| 50°C | 0.90 |
| 55°C | 0.85 |
| 60°C | 0.80 |
| 65°C | 0.74 |
| 70°C | 0.67 |

Fuente: GARCÍA GRANADOS, Víctor Manuel, *Normalización y diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica de baja tensión por medio de ducto barra*. p. 57.

Para aplicaciones donde la temperatura ambiente es menor a los límites de temperatura mostrados en la tabla siguiente o para altitudes mayores que 6 000 pies (1 830 m.), se debe consultar al fabricante.”

Tabla III. **Condiciones inusuales de servicio del ducto barra**

| Equipos | Limites de temperatura ambiente, en grados | Publicación NEMA. |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Tramos de ducto barra y accesorios | -30°C hasta +40°C | Bu 1-1983 |
| Interruptores de potencia de baja tensión | No exceder de +40°C | SG 3-1981 |
| Interruptores termomagnéticos de caja moldeada | 0°C hasta +40°C | AB 1-1975 (R1981) |
| Interruptores de seguridad | -30°C hasta +40°C | KS1-1983 |
| Fusibles tipo cartucho de baja tensión | Ver requerimientos aplicables según UL | |
| Controles de motores manuales y electromagnéticos a 6000 pies o menos | 0°C hasta +40°C máximo | ICS1-1978, (R1983) ICS2-1979, (R1983) y ICS3-1983 |

Fuente: GARCÍA GRANADOS, Víctor Manuel, *Normalización y diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica de baja tensión por medio de ducto barra*. p. 58.

3.1.1.3. Resistencia, reactancia e impedancia

“No hay valores máximos ni mínimos de resistencia, reactancia o impedancia debido a que dichos valores varían considerablemente con las diferentes capacidades y construcciones en los ductos barras. Los fabricantes pueden suministrar esos datos para los productos en particular.”

3.1.1.4. Capacidades de corto circuito

“No hay requerimientos máximos ni mínimos en las clasificaciones de corto circuito especificadas por Underwriters Laboratories (UL). De cualquier forma, la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos (NEMA) recomienda las siguientes clasificaciones mínimas mostradas en la siguiente tabla.”

Tabla IV. **Capacidades interruptivas minimas del ducto barra**

| Corrientes nominal Continua del ducto Barra (amperios) | Corriente simétrica de Corto circuito, Ducto Barra enchufable (amperios) | Corriente simétrica de Corto circuito, ducto barra Alimentador (amperios) |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 100 | 10000 | -- |
| 225 | 14000 | -- |
| 400 | 22000 | -- |
| 600 | 22000 | 42000 |
| 800 | 22000 | 42000 |
| 1000 | 42000 | 75000 |
| 1200 | 42000 | 75000 |
| 1350 | 42000 | 75000 |
| 1600 | 65000 | 100000 |
| 2000 | 65000 | 100000 |
| 2500 | 65000 | 150000 |
| 3000 | 85000 | 150000 |
| 4000 | 85000 | 200000 |
| 5000 | -- | 200000 |

Fuente: GARCÍA GRANADOS, Victor Manuel, *Normalización y diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica de baja tensión por medio de ducto barra*. p. 56.

3.2. Normas de diseño

Los siguientes artículos cubren el servicio de entrada, alimentador, las vías de circuitos derivados y accesorios correspondientes.

3.2.1. Normas relacionadas con la instalación del ducto barra de baja tensión según el Código Eléctrico Nacional (NEC)

Los principales requerimientos para la segura aplicación del ducto barra según el Código Eléctrico Nacional (NEC) se mencionan a continuación.

3.2.1.1. Artículo 368.10. Usos permitidos

“Los ductos barras pueden instalarse de acuerdo a los siguientes incisos:

- Expuestos. El ducto barra solo puede ser utilizado en instalaciones a la vista. Excepto lo indicado en 368.10 (C).
- Oculto. El ducto barra se podrá instalar detrás de paneles de acceso, siempre que los ductos barras sean totalmente cerradas, del tipo no ventilado e instalado de manera que las uniones entre las secciones y en los accesorios sean accesibles para fines de mantenimiento. Si se instala detrás de paneles de acceso, los medios de acceso deben facilitarse y cualquiera de las siguientes condiciones se cumpla:
 - El espacio detrás de los paneles de acceso no se utilizaran para distribución de aire.
 - Cuando el espacio detrás de los paneles de acceso se utiliza para distribución de aire, sean los ductos y cámaras, deberá haber disposiciones para conexiones *plug-in* y los cables deben estar aislados.

- A través de paredes y pisos. Se permite instalarse el ducto barra a través de paredes o pisos de acuerdo con (c)(1) y (c)(2).
- Paredes. Ducto barra sin conexiones intermedias se permitirá que se extienda a través de paredes secas.
- Pisos. Para instalarse en piso debe cumplirse lo siguiente:
 - El ducto barra se permitirá que se extienda verticalmente a través de piso seco si esta totalmente cerrado (sin ventilación) y a una distancia mínima de 1,8 m (6 pies) por encima del suelo para proporcionar una protección adecuada contra daño físico.
 - En establecimientos industriales, donde el ducto barra pasa por dos o mas plantas secas, un mínimo de 100 mm (4 pulg.) de bordillo se instalara alrededor de todas las aberturas del piso del ducto barra tipo elevación para evitar que entren líquidos. El bordillo se instalará a menos de 300 mm (12 pulgadas) de la abertura en el piso. El equipo eléctrico deberá ser ubicado de manera que no se dañe por líquidos que no sean retenidos por el bordillo.”

3.2.1.2. Artículo 368.12. Usos no permitidos

- “El ducto barra no debe ser instalado donde esta expuesto a severos daños físicos o vapores corrosivos.
- No deben instalarse en ductos de elevadores.
- No pueden instalarse ductos barra en zonas peligrosas (clasificada) a menos que estén aprobadas para tal uso.
- Ductos barra no deben ser instalados al aire libre o en lugares húmedos o mojados a menos que estén identificados para ese uso.”

3.2.1.3. Artículo 368.17. Protección contra sobrecorrientes

“La protección contra sobrecorriente será previsto de acuerdo a lo siguiente:

- Capacidad nominal de protección de sobrecorriente, alimentadores. Un ducto barra deberá protegerse contra sobrecorriente de acuerdo con la capacidad de corriente permisible. Excepto lo indicado en los artículos 240.4 y 450.6(a)(3).
- Reducción en ampacidad del ducto barra. La protección de sobrecorriente será exigida cuando el ducto barra disminuye su corriente admisible.

Excepción: Para los establecimientos industriales, se permite la omisión de protección de sobrecorriente en los puntos donde el ducto barra se reduce en intensidad admisible, siempre que la longitud del ducto barra que tiene la menor capacidad de corriente no exceda los 15 m (50 pies) y tiene una capacidad de corriente de por lo menos un tercio de la capacidad nominal o ajuste del dispositivo de sobrecorriente mas inmediato hacia el suministro y siempre que el ducto barra esté libre de contacto con material combustible.

- Alimentadores o subalimentadores. Cuando un ducto barra se usa como alimentador, dispositivos de conexión o *plug-in* se utilizan para conectarse a los alimentadores o circuitos subalimentadores, estos deberán tener el dispositivo de sobrecorriente requerido para la protección de dicho alimentador o subalimentador.

El *plug-in* es un dispositivo que se compone de un circuito externamente operable, un interruptor o interruptor con fusibles externamente operables. Estos dispositivos están montados fuera de alcance y contiene los medios de desconexión, medios adecuados como cables, cadenas, o palancas deberán ser previstos para operar los medios de desconexión de la planta.

- Capacidad nominal de protección de sobrecorriente, subalimentadores. Un ducto barra usado como un subalimentador deberá ser protegido contra sobrecorrientes de acuerdo con 210,20.”

3.2.1.4. Artículo 368.30. Soportes

“El ducto barra deberá estar seguramente soportado a distancias no mayores de 5 pies (1,5m) a menos que estén diseñados y marcados de otra forma.”

3.2.1.5. Artículo 368.56. Ramales desde el ducto barra

- “General. Los ramales desde el ducto barra se harán usando cualquiera de los siguientes métodos de cableado: tipo AC cable blindado, tipo MC metal-clad cable, tipo MI con aislamiento mineral, cable forrado de metal, tipo IMC tubo metálico intermedio, tipo RMC tubo metal rígido, tipo FMC tubo metálico flexible, tipo LFMC tubo flexible metálico hermético, tipo PVC, tipo RTRC tubo reforzado con resina, tipo LFNC tubo flexible no metálico, tipo EMT tubo metálico eléctrico, tipo ENT tubo no metálico eléctrico, canalización metálica de superficie y canalización de superficie no metálica.

- Conexión de cables y cordones. Las conexiones de cordones y cables adecuados son los aprobados para el servicio pesado para la conexión de equipo portátil o para la conexión de equipo fijo con el fin de facilitar su intercambio de acuerdo con 400,7 y 400,8.

Las conexiones de conjunto de cordones o cables flexibles podrán hacerse directamente a las terminales de caga de un dispositivo enchufable al ducto barra cuidando que la conexión incluya un dispositivo de distribución de esfuerzos en el cordón. La longitud del cable desde el plug-in al soporte más cercano no debe ser superior a 1,8 m (6 pies).”

3.2.1.6. Artículo 368.58. Terminales muertas

“Las terminales muertas de ducto barra deben estar completamente cerrados por medio de una tapa final.”

3.2.1.7. Artículo 368-60. Toma de tierra

“El ducto barra deberá ser conectada a un equipo de conductores de tierra, a un equipo de unión puente, o a un conductor de protección cuando lo permita o requerido por 250,92 (B)(1) o 250,142.”

3.2.1.8. Artículo 368.120. Marcas

“El ducto barra debe marcarse con el voltaje y la capacidad de corriente para los que fue diseñado, así como con el nombre del fabricante o marca comercial, de manera que sean visibles después de la instalación.”

4. DISEÑO DEL PROYECTO

El proyecto consiste en un edificio de catorce pisos y cinco sótanos, el cual será utilizado como edificio de apartamentos.

4.1. Diseño del ducto barra

Por razones de economía y de peso se utilizará un ducto con barras de aluminio. El ducto barra saldrá desde el tablero principal de la subestación eléctrica, la cual está localizada en el sótano 1, subirá al primer nivel hasta llegar al ducto eléctrico y se elevará dentro del mismo hasta el nivel 13. Ya que a medida que sube el ducto barra, la carga disminuye se pondrá un reductor de ducto barra en el nivel 11 para disminuir los costos del mismo.

Como el ducto barra alimentará los apartamentos, tendrá medidores secundarios, específicamente paneles de contadores, los cuales se colocarán en los pisos 3, 6 y 12; por lo cual no se necesitan conexiones o salidas enchufables en la parte horizontal, así que se debe utilizar ducto barra tipo alimentador (*feeder*).

En la parte vertical, que es donde se realizarán derivaciones para los paneles de contadores se debe utilizar ducto barra tipo enchufables (*plug-in*), ya que esto facilitará cualquier cambio de posición que se haga con las mediciones.

El voltaje secundario de la subestación es 120/208 V, se utilizará una configuración 3 fases, 4 polos, con el neutro al 100 % y se utilizará la carcasa como conductor de tierra, siempre que esta cumpla con los requerimientos mínimos para tal aplicación.

La capacidad de conducción de las barras están en función del tamaño de la carga completa que dicho ducto va a alimentar. Como se mencionó anteriormente se colocará un reductor de ducto barra en el nivel 11 ya que existe una disminución de carga considerable. Entonces esta sección de ducto barra alimentará los niveles 11, 12, 13 y 14, los cuales tienen una carga de 138 596,84 VA, considerando un factor de crecimiento del 20 %, la corriente será:

$$I = (138\ 596,84 \times 1,2) / (1,732 \times 208)$$

$$I = 461,66 \text{ A}$$

El valor de la corriente no coincide con ninguna capacidad comercial del ducto barra, por lo tanto, se escogerá el valor inmediato superior, el cual es de 500 A.

Para la otra sección de ducto barra en la cual se alimentará todos los niveles, se tiene una carga de 676 713 VA, tomando en cuenta un factor de crecimiento del 20 % la corriente será:

$$I = (676\ 713 \times 1,2) / (1,732 \times 208)$$

$$I = 2\ 254,1 \text{ A}$$

Este valor de corriente tampoco coincide con un valor comercial de ducto barra por lo tanto se elegirá el inmediato superior o inferior. En este caso por cuestiones económicas se instalará un ducto barra de 2000 A.

4.1.1. Lista de piezas del ducto barra

Según los planos y el isométrico del ducto barra, estas son las piezas que se utilizarán para la construcción del ducto barra en el edificio:

Tabla V. **Listado de piezas del ducto barra**

| ITEM | CANTIDAD | NÚMERO DE CATALOGO | DESCRIPCIÓN |
|------|----------|----------------------|--------------------------|
| A | 1 | AF2516G25LESPLS11T14 | Codo de canto |
| B | 5 | AF2516G10ST | Sección tipo alimentador |
| C | 1 | AF2516G21ST | Sección tipo alimentador |
| D | 2 | AF2516GLEM11 | Codo de canto |
| E | 1 | AF2516G59ST | Sección tipo alimentador |
| F | 1 | AF2516G26LFS27B13 | Codo plano |
| G | 1 | AF2516G52ST | Sección tipo alimentador |
| H | 1 | AF2516G40LFS27B13 | Codo plano |
| I | 10 | AF2516G10ST | Sección tipo enchufable |
| J | 1 | AF2516G4ST | Sección tipo enchufable |
| K | 1 | AF2516G15ST | Sección tipo alimentador |
| L | 1 | AF2516GR08 | Reductor |
| M | 9 | HF88F | Soportes planos |
| N | 2 | AP2508G10ST | Sección tipo enchufable |
| O | 1 | AP2508G6ST | Sección tipo enchufable |
| P | 1 | AP2508G4ST | Sección tipo enchufable |
| Q | 1 | ACF13EC | Tapa final |

Fuente: SIEMENS.

4.2. Diseño de la subestación

La subestación será del tipo interior, reductora de voltaje ya que se debe alimentar cargas de 120 y 208 V en todo el edificio y está localizada en el sótano 1; se alimenta de la tensión de distribución a media tensión que es de 13,2 KV mediante la acometida subterránea y la reduce a baja tensión es decir a niveles adecuados utilizables. Esto lo hace mediante un transformador trifásico con salida secundaria 120/208 V que alimentan el tablero principal y los tableros de distribución.

4.2.1. Cálculo de capacidad del transformador

Para calcular la capacidad del transformador se necesita saber la carga total del edificio. Sumando la carga de los apartamentos con la carga de servicios generales y tomando un factor de potencia de 0,8 no da un valor de:

$$\text{D.M.E} = \text{carga de apartamentos} + \text{carga de servicios generales} / 3 * \text{F.P}$$

$$\text{D.M.E} = 143\ 924\ \text{W} + 676\ 713\ \text{W} / 3 * 0,8$$

$$\text{D.M.E} = 410\ 318,5\ \text{VA}$$

Este valor de potencia no coincide con ningún valor comercial de transformadores por lo que se debe elegir el valor inmediato superior, entonces se elegirá un transformador de 500 KVA. Por las características del lugar y por cuestiones económicas se instalará un transformador del tipo seco.

4.2.2. Transformador tipo seco

Debido a que la subestación estará en el sótano 1 y será tipo interior se eligió un transformador tipo seco. Estos transformadores están diseñados para funcionar en ambientes húmedos o muy contaminados. Son idóneos para funcionar en ambientes que presenten una humedad superior al 98 % y en temperaturas por debajo de los -25° C.

Entre las ventajas de los transformadores secos están:

- Los que menos espacios ocupan
- Precisan de menos trabajo de ingeniería civil
- No requieren de características de seguridad especiales
- No requieren de mantenimiento
- Contaminación medioambiental reducida
- Alta resistencia a los cortocircuitos
- Los transformadores son incombustibles
- Gran capacidad para sobrecargas
- Alto reciclado (90 %)
- Buen comportamiento ante fenómenos sísmicos
- Sin riesgo de fugas de sustancias inflamables

Figura 4. **Transformador seco (vista frontal)**



Fuente: Subestación eléctrica del edificio Torre 14.

4.2.3. Normas aplicables al transformador tipo seco

Esta norma se aplica a transformadores de potencia tipo seco con valores máximos de tensión para el equipo de hasta 36 KV (inclusive).

4.2.3.1. Condiciones generales

El ambiente de instalación debe ser un local albergado con ventilación necesaria para la correcta refrigeración. Aunque sean resistentes, no deben ser expuestos directamente a intemperies.

Antes de montar el transformador, los siguientes procedimientos deben ser llevados a cabo:

- Inspección visual, particularmente con respecto a la nivelación correcta de la base
- Inspección visual para constatar que no haya sufrido daños durante el manejo
- Confirmación de las especificaciones técnicas con los datos de la placa de identificación del equipo
- Evaluación de las conexiones con tierra del transformador

4.2.3.2. Requisitos básicos para la instalación

Los transformadores tipo seco se deben de instalar sobre fundiciones adecuadamente niveladas y resistentes para soportar el peso. Cuando el transformador posee ruedas, hay que asegurarse que el equipo sea apoyado de forma pareja en los puntos de base para garantizar la estabilidad y evitar deformaciones.

Al instalar transformadores, hay que considerarse cuidadosamente los siguientes factores:

- “Deberá haber un espaciamiento mínimo de 0,5 m entre cada transformador y también entre un transformador y una pared o muro, de manera que se facilite el acceso para inspección y ventilación.

- El recinto donde se instalará el transformador deber permitir una ventilación natural apropiada, ya que eso es un parámetro esencial para el funcionamiento correcto de un transformador seco. Por eso, es importante que las aberturas de entrada de aire estén localizadas en la parte inferior del transformador y las aberturas de salida estén localizadas en la parte superior del transformador.”

Para mayor información, se recomienda la lectura de las siguientes normas:

- IEC 60076-11 transformador tipo seco
- IEC 60076-12 guía de carga para transformadores de potencia tipo seco

4.2.4. Niveles de voltaje en el lado primario del transformador

El nivel de voltaje en el lado primario del transformador va a depender del voltaje disponible en las redes de distribución, que para este caso es de 13,2 kV, por lo tanto el transformador en el lado primario de sus bobinados deberán ser especificados para un voltaje de 13,2 kV.

4.2.5. Niveles de voltaje en el lado secundario del transformador

Las cargas a conectarse en el lado secundario serán mayormente monofásicas con voltajes 120/208 V, por lo tanto en el lado primario las bobinas estan especificadas para un voltaje de 120/208 V.

4.2.6. Tipos de conexiones para el transformador

En el lado primario tendrá una conexión en delta con voltaje 13,2 KV y en el lado secundario tendrá una conexión estrella con neutro sólidamente aterrizado con voltaje 120/208.

4.2.7. Lista de equipo de la subestación

Los equipos que se instalarán en la subestación serán los siguientes:

- Tablero TD-P

Tablero de distribución QED, tipo autosoportado, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, capacidad de corriente del sistema de 2 000 A, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra. Máxima corriente de falla 18 KA. Un disyuntor tipo RG marca SQUARE-D, 2 000 A, 3P, 480 V, 35 KA. Un disyuntor tipo MG, marca SQUARE-D, 1 200 A, 3 P, 480 V, 65 KA. Un disyuntor tipo LH, marca SQUARE-D, 400 A, 3 P, 480 V, 65 KA.

- Generador de emergencia

Generador eléctrico 156VA, 125 KW, trifásico, 60 HZ, 120/208 V, *standby*.

- Transformador

Transformador tipo seco, 500KVA, voltaje en el lado primario o lado de alta 13,2 KV, voltaje en el lado secundario 120/208 V, trifásico 60 HZ.

- Transferencia automática

Transferencia automática, voltaje 120/208 V, 500 A, 3 polos, trifásico 60 HZ, clase IP 54, para montaje sobrepuesto.

Figura 5. **Transferencia automática**



Fuente: Subestación eléctrica edificio Torre 14.

4.2.9. Sistema de tierra

Un sistema de tierras efectivo consiste en forma típica de varillas de tierra, cables desnudos interconectados formando un anillo o malla y las conexiones a la estructura y partes metálicas de la subestación.

Las funciones del sistema de tierras son: una función propia para la operación apropiada del sistema y una función de seguridad para el personal, es decir, la conexión a tierra de los sistemas de potencia minimiza la posibilidad de accidentes con el personal y daño en el equipo y por otro lado, maximiza la confiabilidad del sistema eléctrico y de los equipos de comunicaciones. También cuando se presentan condiciones anormales, tales como descargas atmosféricas, o bien, fallas a tierra del sistema, el sistema de tierras proporciona un método seguro y efectivo para controlar y disipar las sobretensiones resultantes, mismas que se deben dispersar sin causar daño al personal y a los equipos.

Según el Código Eléctrico Nacional (NEC), tierra física es una conexión conductora ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra.

Idealmente una conexión a tierra física debe tener una resistencia de cero ohms. Sin embargo el Institute of Eléctrical and Electronics Engineers (IEEE) han recomendado un valor de resistencia de conexión a tierra física de 5,0 ohms. El NEC indica que la impedancia del sistema de conexión a tierra física sea de menos de 25 ohms. En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5,0 ohms o menos.

Para el proyecto según mediciones el promedio de resistividad del suelo es de 575 Ω -m, ya que en Guatemala predomina el suelo arcilloso. Con esta resistividad se calculó la resistencia que tendría una varilla en estas condiciones. Una varilla de 5/8" y 5,43 m tiene una resistencia de:

$$R_{var} = (\rho / 2\pi * L) (\ln(4L / r) - 1)$$

$$R_{var} = (575 / 2\pi * 2,43) (\ln (4 * 2,43 / 0,0158) - 1)$$

$$R_{var} = 204,29 \Omega$$

Como la resistencia no es lo suficientemente baja, una varilla no es suficiente, estas varillas deberán tener una separación mínima de 2 veces la longitud de una varilla, de esta forma la corriente que disipa cada varilla no influye en las otras, se utilizarán 9 varillas para este sistema de tierra, de la cual se obtiene:

$$R(\# \text{ var}) = R(1 \text{ var}) / \# \text{ de var}$$

$$R(\# \text{ var}) = 204,29 / 9$$

$$R(\# \text{ var}) = 22,69 \Omega$$

Esta resistencia se podría considerar alta, pero como las varillas estarán interconectadas a través de cable, es necesario calcular la resistencia del cable. Para el proyecto se utilizará cable No. 4/0 el cual tiene un radio de 0,00584 m, con una longitud de 85 m y a una profundidad de 0,5 m. Con estos datos, se encontro la resistencia del conductor.

$$R_{cab} = (\rho / 2\pi * L) (\ln(2L / r) + \ln(L / P) - 2)$$

$$R_{cab} = (575 / 2\pi * 85) (\ln(85 / 0,00584) + \ln(85 / 0,5) - 2)$$

$$R_{cab} = 14,43 \Omega$$

Ya teniendo la resistencia del cable y de las varillas se puede calcular la resistencia que tendrá el sistema de puesta a tierra, el cual será:

$$R_t = R_{var} \times R_{cab} / R_{var} + R_{cab}$$

$$R_t = 14,43 \times 22,69 / 14,43 + 22,69$$

$$R_t = 8,78 \Omega$$

Cumpliendo con la recomendación o Norma del Código Eléctrico Nacional, teniendo una resistencia menor a 25 Ω . Para mayor protección del personal y equipo se recomienda un sistema de puesta a tierra con resistencia menor a 5 Ω . Se puede tratar el terreno con aditivos que pueden ayudar a reducir la impedancia de tierra. Los elementos químicos recomendados y usados tradicionalmente fueron cloruro de sodio (sal común), sulfato de magnesio (sales de Epsom) sulfato de cobre, bicarbonato de sodio y cloruro de calcio. En general para situaciones especiales, hay diversos materiales, como por ejemplo bentonita, marconita o yeso, los cuales ayudan a mantener una resistividad relativamente baja durante un período largo de tiempo.

4.2.10. El pararrayos

El principio de protección contra descargas atmosféricas esta basado en los experimentos de Franklin y consiste en atraer la descarga eléctrica, por medio de un pararrayos y proporcionarle un camino a tierra de valor bajo de impedancia, de manera que la circulación de la corriente a tierra se realice sin influencias en las personas y bienes, teniendo en cuenta que las descargas llevan consigo, además de las acciones eléctricas, las térmicas y mecánicas debidas al alto valor de la corriente de descarga.

Para el proyecto se utilizará un pararrayos con dispositivo piezoeléctrico de cebado. El principio del pararrayos piezoeléctrico se basa en varios factores: el refuerzo del campo eléctrico local, las cualidades de cebado y de inicio del efecto corona. El principio de funcionamiento consiste en aumentar el número de cargas libres (partículas ionizadas y electrones) en el aire cercano del pararrayos y crear, en presencia de un campo eléctrico nubuesuelo, un canal de fuerte conductividad relativa constituyente un camino preferencial para el rayo.

Las zonas de protección de los pararrayos se obtienen teóricamente mediante el trazado del modelo electrogeométrico, pero prácticamente asimiladas para las alturas menores, a un cono de revolución cuya cúspide es el extremo del pararrayos.

La norma NFC 17 102 concierne los pararrayos con dispositivo de cebado (PDA) y toma en cuenta los niveles de protección N_p , de mayor a menor gravedad (I a III), que se deben determinar previamente mediante una evaluación del riesgo de rayo de la cual debe ser objeto cada proyecto.

Define las reglas de instalación y los radios de protección R_p (m) según el avance medio del cebado ΔL (m) de los pararrayos y la distancia de cebado D (m), que se considera de manera diferente según el grado de gravedad: $D(I) = 20$ m, $D(II) = 45$ m, $D(III) = 60$ m.

El cuadro que aparece a continuación presenta los valores de R_p (m) para los tres niveles de protección N_p según la altura h (m) real del pararrayos con relación a los diferentes planos considerados.

Tabla VI. **Radio de protección de pararrayos**

| R_p (m) | SE6 $\Delta L = 15m$ | | | SE9 $\Delta L = 30m$ | | | SE12 $\Delta L = 45m$ | | |
|--------------|----------------------|----|-----|----------------------|----|-----|-----------------------|----|-----|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| 2 | 13 | 18 | 20 | 19 | 25 | 28 | 25 | 32 | 36 |
| 4 | 25 | 36 | 41 | 38 | 51 | 57 | 51 | 65 | 72 |
| 6 | 32 | 46 | 52 | 48 | 64 | 72 | 63 | 81 | 90 |
| 8 | 33 | 47 | 52 | 49 | 65 | 73 | 64 | 82 | 91 |
| 10 | 34 | 49 | 56 | 49 | 66 | 75 | 64 | 83 | 92 |
| 20 | 35 | 55 | 63 | 50 | 71 | 81 | 65 | 86 | 97 |
| 30 | 35 | 58 | 69 | 50 | 73 | 85 | 65 | 89 | 101 |
| 60 | 35 | 60 | 75 | 50 | 75 | 90 | 65 | 90 | 105 |

Fuente: *Saint Elme Manual del pararrayos Saint Elme*. p. 4

Para el proyecto se elegirá uno similar a SE9 de categoría I con una altura de 4 m, el cual da un radio de 38 m, suficiente para la protección del edificio.

5. EQUIPOS UTILIZADO EN LOS ALIMENTADORES

5.1. Panel múltiple de contadores

Los paneles múltiples de contadores deberán de ser del tipo modular los cuales se describen a continuación.

- Panel múltiple de contadores PMC-N3

Modulo de entrada de bornes principales con las siguientes características:

- 500 A
- Certificado UL, NEMA 3R, 3F, 4H, B/T
- 120/208 VAC
- Dimensiones de 37,5"x12,28"x7,28"

Tres módulos con capacidad para seis medidores con las siguientes características:

- Entrada trifásica, salida monofásica
- Clase 100
- 125 A máximo
- Con 5 quijadas
- 120/240 V
- Interruptores ramales tipo QO
- Dimensiones: 66,12"x12,25"x7,09"

Para este panel múltiple de contadores se utilizarán 18 interruptores termomagnéticos de 70 A, 2p, 240 V

- Panel múltiple de contadores PMC-N6

Modulo de entrada de bornes principales con las siguientes características:

- 500 A
- Certificado UL, NEMA 3R, 3F, 4H, B/T
- 120/208 VAC
- Dimensiones de 53,97"x18,66"x11,50"

Tres módulos con capacidad para seis medidores con las siguientes características:

- Entrada trifásica, salida monofásica
- Clase 100
- 125 A máximo
- Con cinco quijadas
- 120/240 V
- Interruptores ramales tipo QO
- Dimensiones: 66,12"x12,25"x7,09"

Para este panel múltiple de contadores se utilizarán 18 interruptores termomagnéticos de 70 A, 2p, 240 V.

- Panel múltiple de contadores PMC-N9

Modulo de entrada de bornes principales con las siguientes características:

- 800 A
- Certificado UL, NEMA 3R, 3F, 4H, B/T
- 120/208 VAC
- Dimensiones de 53,97"x18,66"x11,50"

Tres módulos con capacidad para seis medidores con las siguientes características:

- Entrada trifásica, salida monofásica
- Clase 100
- 125 A máximo
- Con cinco quijadas
- 120/240 V
- Interruptores ramales tipo QO
- Dimensiones: 66,12"x12,25"x7,09"

Para este panel múltiple de contadores se utilizarán 18 interruptores termomagnéticos de 70 A, 2p, 240 V.

- Panel múltiple de contadores PMC-N12

Módulo de entrada de bornes principales con las siguientes características:

- 800 A
- Certificado UL, NEMA 3R, 3F, 4H, B/T
- 120/208 VAC
- Dimensiones de 53,97"x18,66"x11,50"

Dos módulos con capacidad para seis medidores con las siguientes características:

- Entrada trifásica, salida monofásica.
- Clase 100
- 125 A máximo
- Con cinco quijadas
- 120/240 V
- Interruptores ramales tipo QO
- Dimensiones: 66,12"x12,25"x7,09"

Para este panel se utilizarán 12 interruptores termomagnéticos de 70 A, 2p, 240 V.

5.2. Conductores

Los conductores son los encargados de la transmisión de energía eléctrica, para que esta se haga de forma segura y eficiente se debe elegir correctamente el calibre del conductor.

La capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos depende de muchos factores, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes: tipo de instalación (conduit, bandeja, subterráneo, etc), del arreglo de los conductores, de la temperatura de operación de los conductores seleccionados, de la longitud del circuito entre otros.

Además de la capacidad de conducción de corriente el conductor debe llenar cierto número de requisitos, de acuerdo con las condiciones en que es usado, el servicio que debe desarrollar, el valor y costo de la energía etc. Entre estos requisitos están:

- Requisito mecánico

Los conductores deben tener la suficiente resistencia mecánica para soportar, sin deformarse, sin romperse, los esfuerzos aplicados al mismo, en el servicio normal que debe desempeñar.

- Requisito térmico

El conductor debe alcanzar, en operación normal, una temperatura moderada, de acuerdo con la clase y calidad del revestimiento; de las características de la instalación, que no produzca deterioro notable del conductor ni presente peligro para la seguridad de la instalación.

- Requisitos de ionización

En los conductores con forro, usados en líneas de baja o media tensión, la cubierta aislante impide normalmente cualquier escape de corriente, si el tipo de aislamiento y la cantidad son apropiados para las condiciones del lugar y la forma de instalación. Pero si la tensión de línea es elevada, la energía puede escaparse del conductor aunque esté forrado, debido a un fenómeno característico de las tensiones mayores de 15 KV.

- Requisito económico

Si para transportar cierta energía determinada a cierta distancia y con una tensión dada se emplean conductores delgados, no adecuados a la cantidad de corriente transportada, el costo de la línea y los gastos posteriores derivados del capital invertido, serán pequeños, pero la energía disipada por efecto Joule será grande y el valor podrá exceder y anular cualquier ahorro que pudiera provenir del poco capital invertido. Si por el contrario se emplean conductores de calibre excesivo, la pérdida de energía podrá resultar despreciable; pero los gastos derivados del capital invertido serán grandes que la línea no será costeable. En ambos casos la pérdida en efectivo será grande y la explotación resultará antieconómica.

5.2.1. Características del cable a utilizar

Para los alimentadores a tableros se utilizará cable de cobre thhn con aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa protectora de poliamida (nilón). Tensión máxima de operación 600 V, el calibre del conductor va a depender de la carga a alimentar.

Tabla VII. **Capacidad de corriente de conductores de cobre en amperes**

| calibre AWG o KCMIL | SECCION EN mm ² (cobre) | TEMPERATURA DEL CONDUCTOR | | |
|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------|------|------|
| | | 60°C | 75°C | 90°C |
| 14 | 2,08 | 15 | 15 | 15 |
| 12 | 3,31 | 20 | 20 | 20 |
| 10 | 5,26 | 30 | 30 | 30 |
| 8 | 8,37 | 40 | 50 | 55 |
| 6 | 13,3 | 55 | 65 | 75 |
| 4 | 21,15 | 70 | 85 | 95 |
| 2 | 33,63 | 95 | 115 | 130 |
| 1/0 | 53,48 | 125 | 150 | 170 |
| 2/0 | 67,43 | 145 | 175 | 195 |
| 3/0 | 85,05 | 165 | 200 | 225 |
| 4/0 | 107,2 | 195 | 230 | 260 |
| 250 | 126,7 | 215 | 255 | 290 |
| 300 | 152,2 | 240 | 285 | 320 |
| 350 | 177,6 | 260 | 310 | 350 |
| 400 | 202,8 | 280 | 335 | 380 |
| 500 | 253,1 | 320 | 380 | 430 |
| 600 | 303,7 | 355 | 420 | 475 |
| 750 | 379,3 | 400 | 475 | 535 |
| 1000 | 506,7 | 455 | 545 | 615 |

Fuente: *Código Eléctrico Nacional*. p. 690.

5.3. Tableros de distribución

Un centro de carga es un tablero metálico que contiene una cantidad determinada de interruptores termomagnéticos, generalmente empleados para la protección y desconexión de pequeñas cargas eléctricas y alumbrado.

Los centros de carga pueden ser monofásicos o trifásicos, razón por la cual pueden soportar interruptores termomagnéticos, monopolares, bipolares o tripolares.

A continuación se presenta el listado de tableros utilizados en el proyecto:

- **Tablero T-S1**

Centro de carga marca SQUARE-D, 24C, 125A, 240V, 1F, 3H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Dos interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 30 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- **Tablero T-S2**

Centro de carga marca SQUARE-D, 24C, 125A, 240V, 1F, 3H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Un interruptor termomagnético marca SQUARE-D, 30 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-S3

Centro de carga marca SQUARE-D, 24C, 125A, 240V, 1F, 3H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-S4

Tablero de distribución, clase 1130, tipo QO, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, N/S, B/T, barras de cobre de 125 A, 24 polos, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Un interruptor termomagnético marca SQUARE-D, 40 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-S5

Centro de carga marca SQUARE-D, 24 C, 125 A, 240 V, 1 F, 3 H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-N1

Tablero de distribución, clase 1130, tipo QO, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, N/S, B/T, barras de cobre de 125 A, 20 polos, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra. Cinco interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Diez interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-N4

Centro de carga marca SQUARE-D, 24 C, 125 A, 240 V, 1 F, 3 H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Ocho interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-N10

Centro de carga marca SQUARE-D, 24 C, 125 A, 240 V, 1 F, 3 H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Ocho interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-Cuarto de máquinas

Tablero de distribución, clase 1130, tipo QO, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, N/S, B/T, barras de cobre de 200 A, 30 polos, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra. Cuatro interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Tres interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I. Dos interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 40 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I. Un interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 50 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero TDP-Azotea

Centro de carga marca SQUARE-D, 30 polos, 225 A, 240 V, 3 F, 5 H, 600VAC, N/S, B/T, caja NEMA 1. Un interruptor termomagnético I-line, marca SQUARE-D, 100 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I.. Un interruptor termomagnético, I-line, marca SQUARE-D, 200 A, 3P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-Extracción

Tablero de distribución, clase 1130, tipo QO, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, N/S, B/T, barras de cobre de 125 A, 30 polos, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra, interruptor principal tipo QDL 22KA. Un interruptor termomagnético industrial, marca SQUARE-D, 125 A, 3 P, 240 V, 22 K A.C.I. Cuatro interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 50 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tablero T-Bombas

Tablero de distribución, clase 1130, tipo QO, gabinete NEMA 1, 3 fases, 4 hilos, 120/208 VAC, N/S, B/T, barras de cobre de 125 A, 30 polos, marca SQUARE-D, incluye barra de tierra, interruptor principal tipo QDL 22 KA. Un interruptor termomagnético industrial, marca SQUARE-D, 125 A, 3 P, 240 V, 22 K A.C.I. Dos interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 40 A, 3 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tableros T-Aptos de un nivel

Centro de carga marca SQUARE-D, 24 C, 125 A, 240 V, 1 F, 3 H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Trescientos noventa y dos interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Ciento catorce interruptores termomagnéticos, 40 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I. Cincuenta y siete interruptores termomagnéticos, 50 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I.

- Tableros T-Aptos de dos niveles

Centro de carga marca SQUARE-D, 24 C, 125 A, 240 V, 1 F, 3 H. Incluye barra de tierra / neutro sólido. Cincuenta y seis interruptores termomagnéticos marca SQUARE-D, 20 A, 1 P, 240 V, 10 K A.C.I. Catorce interruptores termomagnéticos, 40 A, 2P, 240 V, 10 K A.C.I. Siete interruptores termomagnéticos, 50 A, 2 P, 240 V, 10 K A.C.I.

6. FORMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE LA RED

6.1. Procedimiento para la solicitud de servicio

Para la solicitud de servicio de energía se necesitan llenar ciertos requisitos que va a depender de la empresa distribuidora, que para este caso es Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA), el cual se considerará en media o baja tensión dependiendo de las características técnicas requeridas por los nuevos usuarios. Es de suma importancia saber que cada solicitante hará la petición de servicio de energía eléctrica en los lugares y formas que EEGSA ponga a disposición, especialmente en los Centros de Servicio al usuario de acuerdo al tipo de servicio solicitado.

Para los casos en donde las condiciones requeridas no estén presentes frente a los inmuebles en donde se necesita el servicio, y sobre todo a las distancias mínimas mencionadas en las normas aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, EEGSA hará un estudio técnicoeconómico a solicitud del cliente, tomando en cuenta la propuesta y debiendo incluir lo siguiente:

- Definición del punto de entrega de energía eléctrica.
- Información de las condiciones económicas del suministro.
- En caso de requerirse alguna cometida especial se definirá un punto de colocación del equipo de medida, de común acuerdo con el cliente.

Para mayor información consultar las normas de la empresa distribuidora de energía.

6.2. Requisitos para la solicitud de una extensión de red

“Una extensión de red se debe solicitar cuando las condiciones de la red existen en lugar donde se necesita el servicio, no reúne todo aquello que se conocerá como Características Técnicas de Operación.

Las posibles ampliaciones de red podrán ser así:

- Falta de capacidad instalada, (potencia): sí la potencia requerida no alcanza en el lugar, lo cual será una evaluación del experto que construirá la obra eléctrica.
- Falta de capacidad en los conductores: sí la capacidad de los conductores eléctricos existentes, no alcanza para la requerida en el inmueble. Esto se puede observar en la evaluación de cargas del centro de transformación que se tenga funcionando en el lugar.
- Falta de condiciones técnicas de operación: sí la características técnicas requeridas no existen en el lugar. No hay baja tensión. No existe ni siquiera media tensión. La carga no soporta las líneas de voltaje que se requiere, por lo tanto hay que realizar una adecuación de algún centro de transformación, etc.
- Ubicación de las instalaciones: cuando sobre la red de EEGSA, que contiene las características necesarias, existe pero es necesario adecuarlas para la cercanía, al momento de realizar el tendido en la acometida.

Con el objeto de mantener la calidad del servicio y la seguridad de las personas y objetos, toda las instalaciones que pasen a ser propiedad de EEGSA deben construirse y mantenerse por empresas y materiales que cumplan con la propia normativa, la cual a la vez, es aprobada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Las instalaciones de propiedad particular que no se ajusten a la legislación vigente al momento de la construcción, deben previo a ser conectadas, hacer las modificaciones pertinentes según corresponda.

Todo diseño de redes a conectarse en la red de EEGSA debe ser previamente aprobado por esta. Las solicitudes de servicio eléctrico independientemente de la capacidad, si es usuario regulado o no, deben ser resueltas y comunicadas al solicitante dentro de los 30 días calendario posteriores a la recepción de la petición, entendiéndose que en esa petición estará toda la documentación que EEGSA necesita para evaluar el proyecto.

Todas las instalaciones que pasen a ser propiedad de EEGSA, adicional al cumplimiento de las normas técnicas correspondientes, deben tener constituidas todas las servidumbres necesarias así como el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad con respecto a edificaciones, rótulos, árboles en donde se necesite tala o guardar distancias de seguridad.”

6.3. Condiciones para la prestación de servicio dentro de la franja obligatoria del suministro de EEGSA

“Las siguientes condiciones reflejan las características mínimas que deben ser consideradas por los solicitantes de un servicio de energía eléctrica.

- Acometida lista

Se pretende recibir cualquier tipo de solicitud bajo al indicación concreta de que la acometida para la introducción del fluido eléctrico este completamente terminada, bajo la normativa correspondiente según las características de la carga que se conectará y del inmueble.

- Libre acceso

Es necesario que exista libre acceso al lugar en donde se encuentra la acometida, para poder cubrir el servicio, llevando las redes eléctricas de distribución hasta el propio punto de conexión.

- Tala y desrame

Reconociendo que existen lugares con mucha maleza o árboles en las trayectorias por donde ha de pasar el tendido eléctrico es indispensable reconocer y limpiar, bajo la expectativa de desrame que se tenga; lo anterior, indiscutiblemente es un requisito que el solicitante debe cubrir bajo la responsabilidad siempre que no existan líneas de EEGSA, de lo contrario el trabajo de tala y desrame será realizado por EEGSA y el interesado realizará las gestiones para obtener los permisos.

- Servidumbre de paso

Debido a que en algunos lugares no es posible hacer ampliación de las redes de distribución, sin pasar por lugares que son particulares (aunque no tengan construcción) es necesario que el solicitante, bajo la información que tenga del propio diseño, gestione ante las autoridades y propietarios del lugar, las servidumbres de paso necesarias.

- Existencia de construcción

En el entendido de que si se lleva el fluido eléctrico a un lugar es para uso inmediato de personas en un inmueble específico es indispensable que a la hora de llegar con el tendido eléctrico al lugar, exista construcción en donde se haya de utilizar la electricidad.”

6.4. Forma de diseño para la aprobación de la red, según la opción elegida

“Para la revisión y aprobación del diseño se debe presentar lo siguiente:

- Dos juegos de copias heliográficas de planos en escala 1:1 000 o 1:2 000 firmados por un ingeniero electricista colegiado activo, incluir certificado emitido por el Colegio de Ingenieros. Cada juego de planos debe tener lo siguiente:
 - Diagrama de ubicación.
 - Gabaritos.
 - Distribución de la red de energía eléctrica, indicando calibres y número de fases en BT y MT.

- Diagrama de faseo de transformadores.
- Listado de materiales por estructura o poste a instalar, los cuales deben ser únicamente los homologados por EEGSA.
- En caso de cruces de bulevares, vías férreas, autopistas, barrancos, terrenos montañosos y cruces con otras líneas, será necesario incluir perfil de las líneas.
- Detalle de lo siguiente:
 - Distancia de la extensión de red en kilómetros de longitud para cables de MT (1 y 3 fases) y BT.
 - Cantidad de transformadores por capacidad (KVA).
 - Cantidad y altura de postes diferenciándolos en postes de MT, MT/BT y BT.
 - Costo estimado de la obra.
- Si la red de distribución va a ser subterránea, deben presentarse planos de la obra civil, que muestren las cajas de registro e indicar la cantidad de ellas; tipo y diámetro de los tubos a utilizar entre registros y de que materiales se construyen.

En un plazo de 15 días recibirá la notificación de la aprobación o desaprobación del proyecto, de la siguiente manera:

- Si el diseño es aprobado:
 - Copia del plano autorizado, con el cual podrá iniciar el trámite de la servidumbre si fuera necesaria, así como la construcción del proyecto.

- Convenio de la cesión de la extensión de línea a EEGSA, para que sea firmado por el propietario del proyecto, este convenio debe devolverse al Departamento de Construcción y Nuevos Suministros de EEGSA, ubicado en la 2a avenida 9-27, zona 1 ciudad de Guatemala.
- Si el diseño es rechazado:
 - Listado de las modificaciones que correspondan para la corrección.
 - Una vez efectuadas las correcciones y aclaradas las dudas si las hubiera, se debe presentar nuevamente el proyecto para la revisión en el Departamento de Construcción y Nuevos Suministros de EEGSA.

Finalizada la construcción es importante que se notifique por escrito al Departamento de Construcción y Nuevos Suministros de EEGSA, para que este proceda a la inspección final de la red construida. Hay que considerar que para proceder a la inspección final, es indispensable que el Departamento de Construcción y Nuevos Suministros, tenga a la vista lo siguiente:

- Convenio de cesión firmado por el solicitante.
- Certificado de pruebas de pérdidas de transformadores, efectuada por el laboratorio de Transformadores de Energica, S. A.
- Certificación extendida por el Registro General de la Propiedad, con no más de un mes de haber sido extendida, en donde se haga constar la existencia de servidumbre de paso para conducción de energía eléctrica a favor de EEGSA sobre el bien o bienes inmuebles en donde se encuentre ubicada cualquier instalación de energía eléctrica derivada de este proyecto.

En el plazo de una semana, EEGSA informará el resultado de la inspección. Si es procedente seguir con el proyecto, procederá a la conexión.”

6.5. Consideraciones técnicas para la construcción del proyecto

Tanto los diseños como la construcción de la extensión de líneas deben cumplir con la normativa de EEGSA y con la Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID) emitidas por la CNEE.

6.5.1. Criterios de diseño

“Para que un diseño este completo es indispensable se tomen en cuenta temas como lo que se describen a continuación.

- Seguridad
 - Separación mínima a inmuebles
 - Separación mínima a rótulos
 - Separación mínima de arbolado
 - Separación mínima horizontal o vertical entre fases
 - Separación mínima horizontal o vertical entre otras líneas
 - Separación mínima vertical al nivel del suelo
 - Longitud mínima y máxima del vano

- Instalación de postes.
 - Ubicarlos en áreas seguras y de fácil acceso
 - Utilizar los postes de acuerdo a su resistencia mecánica de diseño, así:

- Clase 500 lbs: para líneas de baja tensión o secundarias
- Clase 750 lbs: para líneas de media tensión o primarias y mixtas (primarias con secundarias)
- Postes de mayor resistencia mecánica o autosoportados en puntos específicos por condiciones del terreno o servidumbre
- Postes especiales en casos muy puntuales
- Instalaciones de retenidas en los postes (comúnmente conocidas como anclas)
- Permisos de servidumbre para postes y retenidas”

6.5.2. Información de campo

- “Verificar la dirección del servicio, según lo solicitado
- Confirmar la existencia de otros solicitantes del lugar, para completar el número de ellos y tomarles en cuenta para el diseño del proyecto
- Verificar si hay usuarios potenciales para incluirlos en diseño
- Establecer el punto de inicio del proyecto e identificar el poste de inicio
- Identificar las líneas de media tensión o primarias, para análisis de balance de carga
- Ubicación del último centro de transformación existente en la red de distribución o media tensión
- Elaborar un diagrama de baja tensión de este último centro de transformación, con calibres de conductores de baja tensión o secundarios y cantidad de servicios conectados en poste
- Determinar si al agregar al o los solicitantes, será necesaria una adecuación del centro de transformación existente
- Si el caso amerita la instalación de otro centro de transformación, ubicar el nuevo lugar para este en el punto central de carga; de manera que absorba parte de la carga del anterior, si fuere procedente”

6.5.3. Media tensión (MT)

- “Postes
 - Ramales principales con conductor 336,4 y 556,5 MCM y neutral, utilizar postes de 40 y 45 pies, con la resistencia de diseño que el caso amerite
 - Ramales principales con conductor 336,4 y 556,5 MCM y con línea de guarda, utilizar postes de 45 pies, con la resistencia de diseño que el caso amerite

- Protecciones
 - Cortacircuitos en derivaciones
 - Pararrayos de línea
 - Bajada de tierra en ramales principales y líneas de guarda”

6.5.4. Baja tensión (BT)

- “Postes
 - Utilizar postes de 30 pies, con la resistencia de diseño que el caso amerite
 - Cuando se estime la posibilidad de prolongación de las líneas de media tensión, deberán dejarse los postes previstos del tamaño y resistencia mecánica de diseño adecuada”

6.5.5. Centro de transformación de distribución

- “Los centros de transformación pueden ser de un transformador o de tres, por lo tanto, es indispensable que se conozcan las capacidades que pueden ser operadas y sus especificaciones principales, tales como voltaje, capacidad, condiciones de bajas pérdidas, etc.
- Las conexiones que se hagan en los centros de transformación, tanto en el lado de alta como el de baja, deben conocerse y hacerse con la máxima seguridad y bajo la especificación de normativos de construcción avalados por EEGSA”

6.5.6. Protecciones

- “En la salida del centro de transformación de distribución, deben instalarse seccionadores tipo fusible para baja tensión, de acuerdo con las normas de construcción aprobadas”

6.5.7. Conductores

- “Las líneas de baja tensión se deben diseñar con conductor entorchado, forrado considerando efectivamente las normas de montaje para tal efecto
- Debe mantenerse la separación mínima horizontal y vertical
- La ruta máxima de la línea de baja tensión debe contemplarse no más grande de 180 m”

6.5.8. Acometida

- “La longitud del servicio de acometida debe ser de 40 metros máximo; sin embargo es importante ver los cuadros procedentes según el cable y la carga a instalar”

6.5.9. Elaboración de planos

- “El diseño del proyecto debe tomar en cuenta a todos los solicitantes reales y a todos los usuarios potenciales que se tengan
- Ciertamente debe diseñarse con criterio económico, seguro y de acuerdo con la normativa particular de EEGSA
- La instalación de postes, de preferencia deben contemplarse en los linderos de las propiedades, así como verificar que no exista alguna limitación para la instalación
- En el plano final, es indispensable contemplar lo siguiente:
 - Cajetín con datos generales del cliente y el estudio
 - Escala del plano
 - Dirección del área de servicio
 - Nombre y firma de quien efectuó la inspección de campo
 - Nombre de quien elaboró
 - Nombre de quien presupuestó
 - Nombre de quien dibujó
 - Unidades básicas de construcción utilizadas en el diseño de cada poste
 - Linderos de propiedades y nombres de propietarios, en donde sea necesario algún desrame o permiso de servidumbre

- Indicación de los postes que requieran permiso de servidumbre o desrame de árboles
- Indicación de las características topográficas y físicas del terreno (montañoso, rocoso, barro, arenoso, normal, etc.)
- Indicación sobre el tipo de acceso al lugar
- Compatibilidad entre la numeración de postes en el plano y el del listado de materiales del presupuesto
- Información completa de los calibres y tipos de conductores en media y baja tensión”

6.5.10. Revisión y aprobación de diseños

“Se le debe solicitar a EEGSA, la revisión y aprobación del diseño, ya que de aventurarse a construir sin haber cumplido con este requisito, puede significar que EEGSA solicite modificaciones posteriores en la red ya construida, lo cual ha de incrementar los costos del proyecto.

La empresa que se contrate en forma particular debe observar las siguientes consideraciones técnicas para la elaboración del diseño:

- EEGSA únicamente puede aceptar transformadores de distribución de marcas homologadas y de bajas pérdidas, para lo cual se sugiere consultarla Resolución CNEE No. 31-2 000
- Únicamente pueden recibirse líneas monofásicas que sirvan menos de 48 kW (53,3 kVA) y no para cargas mayores
- Los conductores a utilizar deben cumplir con las normas que serán proporcionadas por EEGSA, según sea el caso, y que se comuniquen para la fase de diseño en cada proyecto

- Si se trata de una lotificación, en la red de distribución únicamente deben colocarse transformadores monofásicos de 25 y 50 KVA tipo CSP, a excepción del centro de transformación que alimente una bomba de agua, el cual será trifásico y de la capacidad y voltaje requerido
- Para la red de distribución en BT, se debe utilizar conductor tipo triplex 1/0 con neutro aislado y cada ramal que se derive del centro de transformación, debe protegerse con seccionadores fusibles de BT
- Se debe tener sumo cuidado con el faseo de las líneas, anotando en los planos el movimiento de las fases durante la construcción, consultando el dato técnico de MT que se le indique y prestando la información de la fase en que fueron instalados los transformadores; así como el número de serie y compañía asignados a cada centro de transformación
- Los postes deben quedar numerados, anotando en el plano el número asignado a cada poste. Para el efecto la Unidad de Construcción de Líneas, por medio del Gestor de Red a cargo del proyecto proporcionará los números respectivos
- Únicamente pueden construirse líneas monofásicas o trifásicas”

CONCLUSIONES

1. El transformador de la subestación será del tipo seco y según los cálculos realizados será de 500 KVA, con una conexión delta en el primario y estrella en el secundario.
2. Todos los conductores serán de aislamiento THHN, 600 V, de cobre y serán dimensionados con un 20 % más en la sección transversal.
3. Para el sistema de tierras de la subestación se deberán utilizar varillas de 5/8" x 8' de cobre y cable de cobre calibre # 4/0, soldada por medio de soldadura exotérmica tipo cadwell.
4. Las subestaciones son parte importante para el sistema eléctrico de un edificio, por ello deben operar bajo normas estándares de seguridad con el fin de continuar con el óptimo funcionamiento.
5. Un sistema de ducto barra es más económico y ofrece mayores ventajas técnicas que un sistema convencional tubería-cable.
6. El ducto barra debe ser diseñado, montado y puesto en marcha por personal altamente calificado.

RECOMENDACIONES

1. Los tableros eléctricos deben tener la respectiva puesta a tierra por medio de sus armazones para evitar contactos eléctricos no deseados.
2. Las ubicaciones y dimensionamiento de los elementos eléctricos deben cumplir con las respectivas normas de seguridad, con el fin de mantener la continuidad del servicio eléctrico, además de la seguridad de las personas al realizar trabajos de mantenimiento.
3. Capacitar al personal encargado del mantenimiento en cuanto a seguridad y manejo de herramientas para trabajos en la subestación.
4. Tener conocimiento de los requerimientos del Código Eléctrico Nacional para el uso e instalación del ducto barra, antes de implementarlo en aplicaciones específicas.
5. En el caso de sistemas eléctricos de edificios darle mayor importancia al ducto barra cuando se diseñe un sistema de distribución nuevo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB. *Transformadores de distribución tipo seco encapsulado al vacío*. 2004. 4 p.
2. Código Eléctrico Nacional. Estados Unidos. NEC, 2008. 32 p.
3. DUFO LOPEZ, Rodolfo. *Calculo de sistemas de tierra para edificios*. España: Fundación Técnica Industrial. 2004. 75 p.
4. Empresa Eléctrica de Guatemala. *Manual de acometidas*. Guatemala: EEGSA; 2004. 41 p.
5. ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. 2a ed. Mexico: Limusa, 2008. 137 p.
6. KOENISGSBERGER, Rodolfo. *Instalaciones eléctricas*. 2a ed. Guatemala. 1994. 157 p.
7. National Eléctrical Manufaturers Association. *Busway the Modern way to power destribution*. USA. NEMA, 1986. 4 p.

APÉNDICE

1. El modelo electrogeométrico

Es un método de blindaje para subestaciones eléctricas, que se desarrolló en los años sesentas y que se ha tenido a lo largo del tiempo algunas variantes en su aspecto conceptual, publicándose en 1971 por el Edison Electric Institute de Estados Unidos.

De acuerdo con el modelo electrogeométrico, la distancia de impacto de un rayo (es decir, la distancia sobre la cual desciende el canal principal del rayo para tocar el objeto), es proporcional a la densidad de carga del canal principal de descarga; sin embargo, la corriente de retorno es proporcional a la densidad de cargas precedente al canal principal.

El modelo electrogeométrico original fue modificado y simplificado para su aplicación a edificios y subestaciones, esta versión simplificada se usa en el análisis del comportamiento del blindaje de las subestaciones eléctricas y se le conoce como el método de la esfera rodante.

El método de la esfera rodante toma en cuenta los valores del nivel básico de aislamiento (NBI) del equipo a proteger contra descargas, para un valor dado de la corriente del rayo, la relación entre la corriente del rayo y el NBI del equipo esta dada por la ecuación:

$$I_s = 2NBI / Z$$

Siendo:

Z = impedancia característica de la línea en ohms.

Is = corriente de rayo en KA.

NBI = nivel básico de aislamiento al impulso en KV.

La distancia de impacto (S) y la corriente de rayo (Is) están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$S = 8(I_s)^{0.65}$$

Donde S es la distancia del impacto en metros. La distancia de impacto define una esfera de radio (S) que toca el mástil y tiene una distancia (S) sobre el nivel del suelo.

Un arco de radio (S) define una zona de protección para un rayo que tiene magnitud Is. La zona debajo del arco esta protegida contra la corriente de rayo Is, las descargas de magnitud Is que caen fuera del arco (a la derecha o a la izquierda), inciden sobre la tierra, las demás descargas de magnitud Is que descienden dentro del arco, inciden sobre la bayoneta o mástil.

Un concepto importante que es conveniente hacer notar, es que el modelo electrogeométrico define una altura máxima o efectiva de blindaje del mástil o bayoneta para un valor dado de Is que ocurre cuando la altura del mástil de blindaje es igual a la distancia de impacto (S).

2. Cálculo de conductores por caída de tensión

Cuando los conductores recorren una distancia larga, existirá una caída de tensión debido a la impedancia del conductor, es necesario que la caída de tensión en los conductores no exceda de las estipuladas por las normas. La caída de tensión permisible es 2 % de la tensión nominal para la acometida y del 3 % máxima, de la misma para los ramales.

Para la calcular la caída de tensión es necesario conocer la distancia que recorre el conductor así como la corriente que va a transportar.

La caída de tensión se calcula:

$$S = K \times L \times I_s / \rho \times \% \times E_r$$

Donde :

- S = sección del conductor en mm²
- K = 2 para un sistema monofásico
- K = $\sqrt{3}$ para un sistema trifásico
- L = distancia en metros
- I_s = corriente nominal
- ρ = conductividad del material (cobre ρ = 57, aluminio ρ = 36)
- % = Porcentaje de caída de tensión permitida
- E_r = Tensión nominal

Tabla de sección de conductores

| AWG o MCM | SECCION DEL COBRE EN mm ² | DIAMETRO DE CONDUCTOR EN mm (forro) | SECCION DEL CODUCTOR EN mm ² |
|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 | 2,08 | 3,43 | 9,2 |
| 12 | 3,31 | 3,91 | 12 |
| 10 | 5,26 | 4,52 | 16,1 |
| 8 | 8,37 | 6,1 | 29,2 |
| 6 | 13,3 | 7,82 | 48 |
| 4 | 21,15 | 9,05 | 64,2 |
| 2 | 33,63 | 10,57 | 87,8 |
| 1/0 | 53,48 | 13,44 | 142 |
| 2/0 | 67,43 | 14,62 | 168 |
| 3/0 | 85,05 | 15,91 | 199 |
| 4/0 | 107,2 | 17,37 | 237 |
| 250 | 126,7 | 19,38 | 295 |
| 300 | 152,2 | 20,78 | 339 |
| 350 | 177,6 | 22,08 | 383 |
| 400 | 202,8 | 23,27 | 425,4 |
| 500 | 253,1 | 25,43 | 508 |
| 600 | 303,7 | 28,23 | 626 |
| 750 | 379,3 | 30,89 | 749 |
| 1000 | 506,7 | 34,8 | 951 |

3. El ducto barra

Es un sistema de distribución de energía prefabricado compuesto por barras conductoras, que pueden ser de cobre o aluminio, aisladas entre si por medio de mylar, pvc, epoxy, entre otros. Estas barras se encuentran inmersas en una carcasa metálica protectora conectada a tierra.

Entre los componentes principales del ducto barra están las barras que es por donde circula la corriente, el tamaño de esta depende de la cantidad de corriente que circule a través de ellos. Estas barras están separadas solo por una capa aislante y puede estar configurado para tres o cuatro polos con o sin barra interna de tierra.

Además de las barras están los aislantes que son las encargadas de soportar y aislar eléctricamente las barras, la carcasa cuya función es proteger mecánicamente las barras y el aislante de contactos exteriores.

3.1. Componentes principales del ducto barra y accesorios

- La carcasa

Es una estructura metálica conductora, puesta a tierra, en la cual se encuentran las barras y los aislantes; su función es la protección mecánica de dichos elementos y aislarlos de contactos exteriores.

Por la forma física, puede ser del tipo ventilada con rejillas a lo largo de la misma, o no ventilada, la cual está completamente cerrada. Entre los ductos barras con carcasa del tipo no ventilada, se encuentran disponibles con carcasas a prueba de agua o a prueba de polvo, con distintos grados de

protección según los estándares internacionales IP. Una combinación de ductos barra de diferentes grados de protección para un mismo sistema de distribución es posible; esta combinación trae como resultado un menor costo debido a que el ducto barra para uso exterior es mas caro que el ducto para uso interior.

- **Las barras**

Las barras son el medio por donde circula la corriente eléctrica y se fabrican de cobre o aluminio. Estas están colocadas una a la par de otra, únicamente separadas por una película aislante. El tamaño de las barras esta en función de la cantidad de corriente que va a circular por ellas, y como en los sistemas convencionales, pueden usarse dos barras en paralelo por fase para aumentar la capacidad de transporte de corriente eléctrica.

El ducto barra puede ser suministrado en configuraciones de tres o cuatro polos, con o sin barra de tierra interna. Debido a que la carcasa esta fabricada con un material conductor, puede ser utilizada como conductor de tierra. El neutro puede ser del mismo tamaño que las barras principales (100 %), puede tener la mitad de la sección (50 %) o dos veces la sección de las barras principales (200 %).

Barras del ducto barra



- Los aislantes

Son materiales que tienen como función principal soportar y aislar eléctricamente las barras para evitar contacto entre ellas. Los materiales aislantes quedan a criterio de los fabricantes y por lo general usan PVC, epoxy y papel mylar. Estos son colocados en los extremos de las secciones como soportes y alrededor de cada una de las barras para aislarlas.

3.2. Principales tipos de ducto barra

En el mercado se puede encontrar varios tipos de ducto barra, por lo cual es necesario conocer las diferentes opciones para un sistema eléctrico; esto permitirá seleccionar el ducto barra adecuado a nuestras necesidades.

3.2.1. Ducto barra tipo FEEDER (alimentador)

Este tipo de ducto barra tiene una carcasa completamente cerrada, la cual no tiene ninguna salida para derivaciones o conexiones. La construcción y diseño, permite la máxima eficiencia en la transmisión de energía eléctrica.

Por sus características, es usado para alimentar convenientemente y segura cargas que están concentradas en un área determinada. Con el ducto barra tipo alimentador es posible alimentar, sin ningún problema, cargas comprendidas entre 600 y 5 000 amperios usando barras de cobre y cargas comprendidas entre 600 y 4 000 amperios usando barras de aluminio. La tensión de operación normalizada es de 600 voltios de corriente alterna o corriente directa.

Para este tipo de ducto barra, es posible encontrar configuraciones eléctricas en cobre como en aluminio:

- I. 3 fases, 3 alambres
- II. 3 fases, 4 alambres (neutro al 100 %)
- III. 3 fases, 4 alambres (neutro al 200 %)

El sistema de tierra puede ser integrada (carcasa), barra de tierra interna o barra de tierra interna aislada.

3.2.2. Ducto barra tipo RISER (enchufable para elevación)

Este tipo de ducto barra se caracteriza, principalmente, porque provee tomas de corriente para conexiones y derivaciones a todo lo largo de su recorrido, en intervalos regulares. El espacio entre las tomas de corriente para enchufe, que se encuentran a ambos lados del ducto es de 2 pies.

Este ducto barra se usa principalmente en distribuciones verticales de edificios altos. Por razones de espacio físico, en los edificios, el ducto barra tiene una disposición vertical y su recorrido esta siempre cerca de una pared, lo cual no permite enchufar accesorios en ambos lados del ducto.

Las capacidades normalizadas para este tipo de ducto barra van desde 100 hasta 4 000 amperios, 600 voltios de corriente alterna o corriente continua.

Para este tipo de ducto barra, es posible encontrar configuraciones eléctricas en cobre como en aluminio:

- I. 3 fases, 3 alambres
- II. 3 fases, 4 alambres (neutro al 100 %)
- III. 3 fases, 4 alambres (neutro al 200 %)

El sistema de tierra puede ser integrada (carcasa), barra de tierra interna o barra de tierra interna aislada.

3.2.3. Ducto barra tipo PLUG IN (enchufable estándar)

El ducto barra tipo PLUG IN tiene las mismas características que el tipo RISER. Este tipo de ducto barra es usado para alimentar equipos móviles, o cuando se requiere un sistema de distribución versátil que permita la fácil y rápida reubicación de ciertos equipos fijos ya existentes en un área determinada.

Las capacidades normalizadas para este tipo de ducto barra van desde 100 hasta 4 000 amperios, 600 voltios de corriente alterna o corriente continua.

Para este tipo de ducto barra, es posible encontrar configuraciones eléctricas en cobre como en aluminio:

- I. 3 fases, 3 alambres
- II. 3 fases, 4 alambres (neutro al 100 %)
- III. 3 fases, 4 alambres (neutro al 200 %)

El sistema de tierra puede ser integrada (carcasa), barra de tierra interna o barra de tierra interna aislada.