



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL 7 DE 23 (KV) PARA ZONA  
CULTURAL DE CU, UNAM.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

JUAN CARLOS ALFARO GARCÍA  
HEBER DANIEL SÁNCHEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY



México, Ciudad Universitaria. Febrero 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## *Dedicatoria.*

*A mis padres, Saturnina Martínez y José Ever Sánchez, por sus enseñanzas, su amor, trabajo, sacrificio y por guiarme durante todos estos años.*

*A mis hermanos Janett y Gabriel Sánchez, por ser la alegría que me incita a seguir adelante.*

*Heber Daniel Sánchez Martínez*

## DEDICATORIA.

Este trabajo es dedicado a todas las personas que contribuyeron en mi formación académica y personal, pero en especial a mis padres: Guadalupe García López, Juan Carlos Alfaro Aguilar y mis tíos: Virginia Alfaro Aguilar, Arturo Herrera Colín, María Esther Alfaro Aguilar y Gustavo Ramírez Castañeda, quienes en conjunto me han apoyado siempre, son la guía en mi vida, y por quienes puedo agradecer lo que soy, por último a mi sobrinita Fabiola Márquez Alfaro y a mi novia Paola Jazmín Vázquez Juárez por todos esos momentos alegres que han provocado en mi vida desde que entraron a ella.

Pero sobre todo quiero agradecerte a ti mamá por todo el amor y confianza que has tenido hacia mí... gracias por todo, te quiero mucho.

Juan Carlos Alfaro García



En el presente trabajo, se describen los trabajos realizados para proponer una nueva Subestación General, e incorporarla a la Red Eléctrica Subterránea del Centro Cultural Universitario, como resultado de observar, medir y evaluar las condiciones actuales de la red de distribución que provee de energía eléctrica a este complejo cultural.

Ubicar el área de trabajo fue primordial para ir trazando trayectorias, recorridos e identificar las instalaciones correspondientes a la red de distribución.

Para iniciar estos recorridos, fue necesario obtener documentos, oficios e información correspondiente en diversas dependencias del Centro Cultural Universitario, para poder acceder a realizar el diversos estudios en las subestaciones derivadas de la Subestación Eléctrica General No. 3 y de los circuitos que conforman la red actual.

En este mapa se plasmó el recorrido, iniciando desde la Subestación General No.3 hasta las subestaciones derivadas, que son parte del Centro Cultural Universitario; en las tablas 1 y 2.

TRANSFORMADORES BAJA TENSIÓN				
No.	DEPENDENCIAS	CAPACIDAD INSTALADA (kVA)	DEMANDA MAX. (kVA)	DEMANDA MAX. (kW)
1	JUAN RUÍZ DE ALARCÓN	1000	364.724	346.42
2	UNIDADES ADMINISTRATIVAS	750	194.825	189.495
3	INTITUTO DE INV. JURIDICAS	1000	331.393	300.665
4	UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	1000	263.17	233.127
5	INSTITUTO DE INV. FILOSÓFICAS	750	293.275	286.241

**TABLA 1. Transformadores en baja tensión CCU**



TRANSFORMADORES MEDIA TENSIÓN CENTRO CULTURAL				
No.	DEPENDENCIAS	CAPACIDAD INSTALADA (kVA)	DEMANDA MAX. (kVA)	DEMANDA MAX. (kW)
1	UNIVERSUM	1000	364.724	346.42
2	SALA NEZA	750	194.825	189.495
3	MUAC	1000	331.393	300.665
4	JUAN RUÍZ DE ALARCÓN	1000	263.17	233.127
5	UNIDADES ADMINISTRATIVAS	750	293.275	286.241
6	DGIRE	300	159.825	156.222
7	INSTITUTO DE INV. JURIDICAS	500	227.17	224.659
8	UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	750	245.799	239.069
		500	74.467	69.261
9	FONDO RESERVADO	500	67.95	65.808
10	INST. DE INV. FILOSÓFICAS	750	177.152	172.604
11	INST. DE INV. ECONOMICAS	750	78.801	77.435
12	COORDINACIÓN DE POSGRADOS I	500	45.898	45.824
13	COORDINACIÓN DE POSGRADOS II	1250	155.606	150.189
14	POSGRADO DE ECONOMÍA	300	62.536	62.02
15	CUEC	500	--	--
16	TV-UNAM	1250	199.421	193.23

TABLA 2. Transformadores en media tensión CCU



---

## ***PRÓLOGO***



Se espera que el presente trabajo, sirva como futura referencia sobre la red de distribución de zona cultural, ya que en esta tesis se describe de forma general como está constituida la Subestación General 7, así como los equipos utilizados, cargas alimentadas (anillos formados por las dependencias del Centro Cultural Universitario, CCU).

El sistema actual de distribución de CCU se encuentra alimentado por la Subestación General No.3 siendo de tipo radial; presentando algunas dependencias alimentadas por fuera del sistema de distribución del CCU actual, es decir, por acometidas independientes, como es el caso de TV UNAM, CUEC, Polideportivo, Registro de Aspirantes, entre otros.

Con el presente proyecto de la SG7 se busca formar tres anillos identificados como: "L", "M" y "N" entre la SG3 y a SG7 para incorporar a todas las dependencias del CCU al sistema de distribución que será de tipo anillo abierto, alimentado en 23 [kV].



## Contenido

CAPÍTULO 1. CENTRO CULTURAL UNIVERSITARIO.....	1
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES .....	20
CAPÍTULO 3. SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. ....	62
3.1 Sistemas de Distribución.....	63
3.2 Sistemas de distribución subterráneos. ....	63
3.2.1 Estructuras de redes subterráneas.....	63
3.2.2 Estructura Radial .....	64
3.2.3 Estructura Anillo Abierto .....	65
3.3 Subestaciones Eléctricas.....	65
3.3.1 Diagrama unifilar.....	66
3.3.2 Tipos de arreglo de las barras en una subestación eléctrica. ....	66
CAPÍTULO 4. ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN .....	78
4.1 Cables de energía .....	78
4.2 Transformadores de potencia.....	80
4.3 Transformadores de instrumento.....	83
4.3.1 Transformadores de corriente (TC). ....	83
4.3.2 Transformadores de potencial (TP).....	84
4.4 Tableros. ....	85
4.5 Interruptores. ....	87
4.6 Cuchillas desconectadoras. ....	88
4.7 Apartarrayos.....	89
4.8 Fusibles en la acometida.....	90
4.9 Banco de baterías. ....	91
CAPÍTULO 5. RED DE TIERRAS. ....	92
5.1 Red de tierras.....	92
5.2 Generalidades de una red de tierra.....	94
5.3 Corrientes de corto circuito en la red de tierra.....	94



5.3.1	Máxima corriente de la red de tierra.....	95
5.4	Potenciales tolerables por el cuerpo humano.....	95
5.4.1	Corriente de fibrilación.....	96
5.4.2	Potencial de toque o contacto.....	97
5.4.3	Potencial de paso.....	99
5.5	Potencial transferido.....	100
5.6	Duración de la falla.....	102
5.7	Cálculo de la malla de tierra.....	102
5.8	Formas de instalar el electrodo de puesta a tierra.....	105
5.8.1	Electrodos múltiples.....	105
5.8.2	Electrodos horizontales.....	106
5.8.3	Electrodos en suelo duro.....	106
5.8.4	Varillas de copper-weld.....	107
5.8.5	Electrodos profundos.....	107
5.8.6	Electrodos químicos.....	107
5.8.7	Bentonita.....	108
5.9	Propuesta del sistema de tierras para la Subestación General 7.....	108
<b>CAPÍTULO 6. PROTECCIONES EN UNA SUBESTACIÓN.....</b>		<b>119</b>
6.1	Generalidades.....	119
6.2	Tipos de perturbaciones.....	120
6.2.1	Cortocircuito.....	120
6.2.2	Sobrecarga.....	120
6.2.3	Retorno de corriente.....	121
6.2.4	Sobretensión.....	121
6.3	Características funcionales de un sistema de protección.....	121
6.4	Estructuras de un sistema de protección.....	123
6.4.1	Protecciones Primarias.....	123
6.4.2	Protecciones de Respaldo.....	124
6.5	Elementos de un sistema de protección.....	124
6.6	Sistemas de protección más usuales.....	125



## ÍNDICE

---

6.7 Relevadores. ....	125
6.8 Propuesta de relevador para la Subestación General 7. ....	130
<b>CAPÍTULO 7. AUTOMATIZACIÓN</b> .....	<b>133</b>
7.1 Automatización.....	133
7.2 Tipos de control.....	134
7.2.1 Control Local. ....	135
7.2.2 Control Remoto.....	135
7.2.3 Control Automático.....	136
7.3 Sistemas automáticos de control. ....	137
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>139</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>141</b>



## CAPÍTULO 1. CENTRO CULTURAL UNIVERSITARIO

El Centro Cultural Universitario (CCU) se encuentra localizado en la ciudad de México, al sur de Ciudad Universitaria y acotada por, Av. Insurgentes, Av. Antonio Delfín Madrigal y Av. del Imán. El CCU cuenta con una extensión territorial aproximada de 273.3 hectáreas. En la siguiente fotografía se puede apreciar una toma aérea del Centro Cultural Universitario acotando su área con una curva amarilla.



La ubicación del CCU, permite, bajo las condiciones atmosféricas apropiadas, que se puedan apreciar los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl. El trazo geométrico del sitio arquitectónico se basa en un eje general, segmento rectilíneo; cada uno de sus extremos agrupa diferentes edificios. La parte norte incide en la entrada a la Biblioteca; hacia el sur, se llega a la plaza que une la Sala Nezahualcóyotl con



los teatros, los recintos de danza, música de cámara y de exhibición cinematográfica, las oficinas de la Coordinación de Difusión Cultural que tiene encomendadas, entre otras cosas, la preparación y ejecución de las actividades.

Comúnmente, quien visita el CCU, acude a los eventos culturales o presentaciones artísticas, los cuales son realizados en sus diferentes recintos, por lo que en general para su público, es un espacio de entretenimiento para todos los gustos ya que dicho espacio cuenta con una gama amplia de actividades culturales.

El CCU es un espacio que define un nuevo conjunto de formas creadas a partir de edificios que comparten un elemento en común, la difusión de la cultura. Proyectado en los años 70, para ser un lugar en donde la comunidad universitaria pudiera disfrutar y llevar a cabo, todas y cada una de las manifestaciones artísticas y culturales, Por lo cual es la obra que unifica el conjunto cultural que formó parte de la segunda fase de la construcción de Ciudad Universitaria.

El proyecto de la construcción del CCU fue encabezado por dos arquitectos, ellos fueron Orso Núñez Ruíz Velasco y Arcadio Artís E. Dicho proyecto tuvo como principal objetivo crear edificios en donde se conjugara la modernidad con la tradición prehispánica y el paisaje volcánico del pedregal, para que fueran utilizados para difusión de cultura.

Por otra parte el CCU no se sustituye a otros recintos de la UNAM usados para la difusión de cultura como el Museo Universitario del Chopo, el Teatro de Arquitectura, el Palacio de Minería, la Casa del Lago en el Bosque de Chapultepec, Biblioteca Central, la Antigua Escuela de Medicina y los demás recintos de la Universidad todos influyentes en la vida cultural y estudiantil de la Ciudad de México.

La primera construcción realizada en el CCU fue la Sala Nezahualcóyotl, en el año de 1976, recinto en el que año tras año la Orquesta Filarmónica de la Universidad Nacional y la de Minería de la Facultad de Ingeniería tienen reservada su temporada para presentar una serie de conciertos. A esta construcción le siguieron el teatro Juan Ruíz de Alarcón y el Foro Sor Juana Inés de la Cruz.

Para concluir en 1980, con las Salas de Cine Julio Bracho y José Revueltas, la Sala de Danza Miguel Covarrubias, la de Música de Cámara Carlos Chávez, la Cafetería Azul y Oro y últimamente el Museo de Arte Moderno, obra del arquitecto Teodoro González de León.



Merece mención especial el Espacio Escultórico, una amplia zona en medio de los pedregales en donde grandes esculturas contemporáneas de algunos de los artistas plásticos más famosos de México como Matías Goeritz y Sebastián, se fusionan con el entorno natural creando uno de los espectáculos más impresionantes y evocadores de la Ciudad de México. En especial destaca la serie de esculturas blancas alrededor de un cráter volcánico de la zona en donde al contemplarlo a cualquier hora del día se siente una sensación de inmensidad y de integración total entre el arte y la naturaleza.

Posteriormente a este espacio arquitectónico se sumó un andador que une al Centro Universitario de Teatro, la Unidad Bibliográfica y el posgrado de la Facultad de Economía.

A través del tiempo, el CCU ha ido implementando edificaciones después de las realizadas en el principio del proyecto, lo cual es importante, ya que la difusión de la cultura no ha dejado de tener importancia para la UNAM, pero por otra parte y para los fines del trabajo aquí presentado es importante analizar y saber cuál es la carga total instalada, es decir cómo está compuesto el sistema eléctrico del CCU para ello es necesarios saber la capacidad de los transformadores de cada subestación derivada, así como la configuración del sistema de distribución.

La red de distribución eléctrica del CCU es el tipo subterráneo y tipología radial, la cual se encuentra alimentada por la subestación generales 3, ubicada sobre Av. del imán. En la siguiente tabla se muestra la capacidad de los transformadores actualmente conectados a la red.

TABLA CON INFORMACIÓN GENERAL DE ZONA CULTURAL		
No.	DEPENDENCIAS	CAPACIDAD INSTALADA (kVA)
1	UNIVERSUM	1000
2	SALA NEZAHUALCÓYOTL	750
3	MUAC	1000
4	JUAN RUÍZ DE ALARCÓN	1000
5	UNIDADES ADMINISTRATIVAS	750

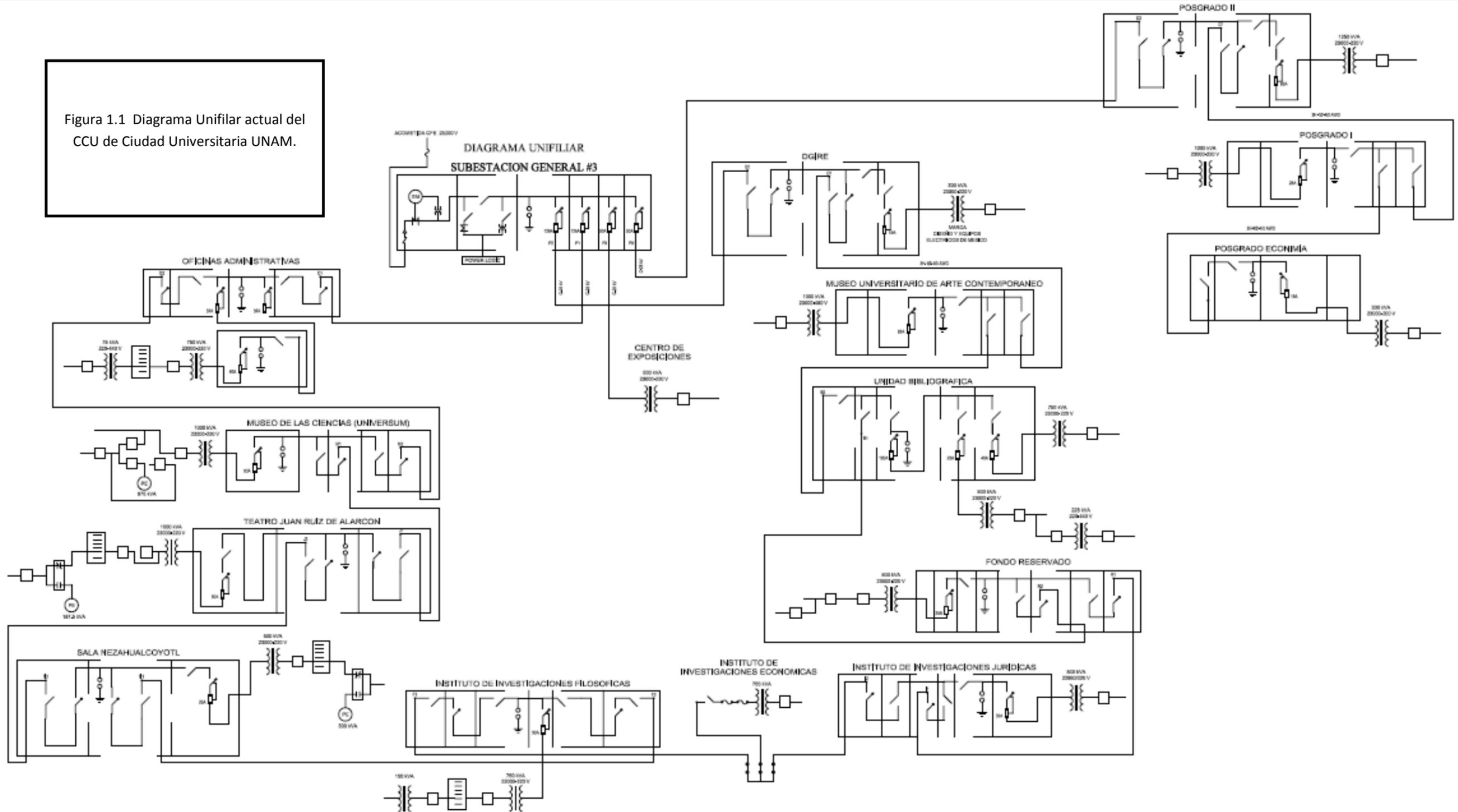


6	DGIRE	300
7	INSTITUTO DE INV. JURÍDICAS	500
8	UNIDAD BIBLIOGRÁFICA, BIBLIOTECA NACIONAL Y HEMEROTECA	750
		500
9	FONDO RESERVADO	500
10	INST. DE INV. FILOSÓFICAS	750
11	INST. DE INV. ECONÓMICAS	750
12	COORDINACIÓN DE POSGRADOS I	500
13	COORDINACIÓN DE POSGRADOS II	1250
14	POSGRADO DE ECONOMÍA	300
15	CUEC	500
16	TV-UNAM	1250
17	CENTRO DE EXPOSICIONES	500
18	ALMACÉN Y SERVICIOS DIVERSOS	112.5

A continuación en la figura 1.1 se muestra el diagrama unifilar del Centro Cultural Universitario. Algunas dependencias ubicadas dentro del CCU no se encuentran conectadas a la red, si no cuentan con su propia acometida, entre dichas dependencias se encuentran TV UNAM, CUEC y el Polideportivo.

Por otra parte también dentro del CCU hay dependencias alimentadas en baja tensión, las dependencias que actualmente se encuentran en este caso son: Coordinación de Humanidades, Inst. De Investigaciones Filológicas, Inst. De Investigaciones Sociales, Inst. De Investigaciones Históricas y Estéticas, Inst. De Investigación Sobre la Universidad, Registro de Alumnos, Centro de Control, Taller mecánico, Publicaciones, y el Bodegón UNIVERSUM.

Figura 1.1 Diagrama Unifilar actual del CCU de Ciudad Universitaria UNAM.





Tras la incorporación de la subestación general 7, el sistema de distribución eléctrico del CCU se planea que sea dividido en 3 anillos, para alimentar a las diferentes dependencias. Dichos anillos serán llamados L, M y N.

El anillo L estará constituido por las siguientes dependencias:

- Registro de alumnos.
- Centro de control.
- Publicaciones.
- Taller mecánico.
- Bodega UNIVERSUM.
- Coordinación de posgrado 1.
- Coordinación de posgrado 2.
- Posgrado de Facultad de Economía.
- DGIRE.
- MUAC.
- Unidad Bibliográfica / Hemeroteca

El anillo M estará constituido por las siguientes dependencias:

- Polideportivo.
- Almacenes y servicios diversos.
- Almacén bajas patronato.
- Oficinas administrativas exteriores.
- UNIVERSUM.
- Teatro Juan Ruiz de Alarcón.
- Sala de conciertos Nezahualcóyotl.
- Instituto de investigaciones sobre la universidad.

El anillo N estará constituido por las siguientes dependencias:

- Instituto de investigaciones Filosóficas.
- Coordinación de Humanidades.
- Instituto de investigaciones Filológicas.
- Instituto de investigaciones Sociales.
- Instituto de investigaciones Económicas.
- TV UNAM.
- CUEC.
- Instituto de investigaciones Históricas y Estéticas.



- Instituto de investigaciones Jurídicas
- Fondo Reservado.

A continuación se describen algunos de los edificios más representativos que forman parte actualmente el Centro Cultural Universitario:

### **SALA NEZAHUALCÓYOTL.**



Este recinto se encuentra considerado como una de las mejores salas de conciertos en América Latina, tanto por su belleza arquitectónica como ingeniería acústica, dicho recinto es sede de la orquesta filarmónica de la UNAM o también conocida como OFUNAM, además de ser un espacio de manifestación musical para artistas de nivel nacional e internacional, ya que a lo largo de sus casi 38 años, se han escuchado numerosos estrenos de algunas obras, tales como:

- La Filarmónica de Viena con Carlos Kleiber.
- La Filarmónica de Israel con el legendario Leonard Bernstein.
- La Sinfónica de Londres con John Pritchard.
- La Filarmónica de Nueva York con Kurt Masur.

Después de ser construida en un tiempo récord de menos de dos años, fue inaugurada la noche del jueves 30 de diciembre de 1976 con un concierto que ofreció la Orquesta Filarmónica de la UNAM, bajo la batuta del maestro Héctor Quintanar, y la declaratoria oficial del doctor Guillermo Soberón, entonces rector de esta Casa de Estudios.



**Instituto de Investigaciones Filosóficas.**



En 1940 se funda el Centro de Estudios Filosóficos como parte de la Facultad de Filosofía y Letras en las instalaciones del edificio Mascarones. En ese mismo año se iniciaron las actividades de la Biblioteca del Centro de Estudios Filosóficos. Después en 1954 el Centro se instala en la Ciudad Universitaria, en el cuarto piso de la Torre de Humanidades. En 1967 el Consejo Universitario aprueba los estatutos para que el Instituto tome su actual nombre.

El Instituto de Investigaciones Filosóficas (IIFs) es un centro de investigación dedicado a producir conocimiento original en filosofía, formar y actualizar a profesores e investigadores en filosofía y difundir el conocimiento filosófico.

El acervo de la Biblioteca " Eduardo García Máynez ", ubicado en este instituto, se encuentra integrado con obras fundamentales de la filosofía y colecciones especializadas en las siguientes áreas de investigación:

- Epistemología
- Estética
- Ética
- Filosofía de la ciencia
- Filosofía de la mente
- Filosofía de la religión
- Filosofía del derecho
- Filosofía del lenguaje
- Filosofía en México
- Filosofía política
- Historia de la filosofía e historia intelectual
- Lógica
- Metafísica



**UNIVERSUM.**



La creación de Universum se remonta al inicio de la década de los ochenta, cuando la comunidad científica de nuestra Universidad coincidió en la necesidad de construir un espacio para divulgar el conocimiento científico de nuestro país. Fue en 1992, durante el primer rectorado del Dr. José Sarukhán, cuando este proyecto se cristalizó.

Abrió sus puertas al público con el objetivo de divulgar la ciencia entre jóvenes, niños y el público en general, principalmente entre en la comunidad universitaria de México, como un apoyo a su formación académica.

Cuenta con 13 salas permanentes en las que exhibe colecciones y herramientas interactivas, abarcando los siguientes temas: agricultura y alimentación, biodiversidad, biología humana y salud, conciencia ciudadana, energía, espacio infantil, estructura de la materia, infraestructura de la nación, matemáticas, química, tecnología satelital, Balsa en el tiempo (que simula un viaje por la historia de la humanidad) y Universo (rocas lunares y maquetas planetarias).

El museo se encuentra rodeado de más de 10 hectáreas de zona de reserva ecológica del Pedregal de San Ángel y áreas de jardines, el museo Universum cuenta con 25,000 m<sup>2</sup> construidos, de los cuales 12,000 m<sup>2</sup> están destinados a exposiciones permanentes.

El Universum cuenta con una gran infraestructura para desarrollar encuentros, congresos, presentaciones de libros, conferencias, seminarios, mesas redondas, conciertos, premiaciones, cursos, exposiciones, reuniones de trabajo o demostraciones científicas y tecnológicas. Incorpora en su sala doce temas de las áreas de las ciencias exactas, naturales y sociales. Parte de este museo lo es también “la casita de la ciencias” donde hay un observatorio astronómico,



invernadero, taller de artes plásticas, de cómputo, robótica, y los laboratorios Astrolab y Fisilab.

Universum hace uso de todos estos recursos para proclamarse a favor de la sustentabilidad de la ciencia como eje rector, mediante un discurso museográfico diverso en el que se procure la participación constante de los visitantes a través de exposiciones, actividades, talleres, conferencias, cursos, cine y teatro.

**TV UNAM.**



TV UNAM es un canal cultural de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se trata de la alternativa de televisión cultural más joven del país que reúne en su carta programática una producción nacional atractiva de gran calidad, que se complementa con una muestra extraordinaria de la mejor televisión del mundo.

En un principio XHUNAM inició sus transmisiones bajo un permiso de tipo experimental, con una vigencia del 5 de diciembre del 2000 al 4 de diciembre del

2005 en el canal 60, análogo. En el 2005 el permiso fue refrendado por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pero ya no de carácter experimental de tipo análogo, sino para transmisiones regulares de tipo digital, y se asignó el canal 20.

Desde su lanzamiento, el 24 de octubre de 2005, TV UNAM ha creado un estilo propio a través de una carta de programación que se nutre de la riqueza del pensamiento y creación universitarios. Desde la concepción más amplia de la cultura, con un profundo sentido de la diversidad y apostando por los nuevos



lenguajes audiovisuales y los nuevos creadores, TV UNAM ha logrado convertirse en referencia indispensable de la televisión pública cultural de México.

Gracias a su alianza con la DGTVE de la SEP, responsable de la señales satelitales educativas EDUSAT, TV UNAM cubre todo el país, siendo parte de la oferta de canales básicos de los sistemas de televisión por cable y del sistema de televisión SKY.

TV UNAM fue premiado en 2007 como El Mejor Canal Cultural de Iberoamérica por la Universidad Carlos III de Madrid. Obtuvo recientemente tres Premios Nacionales de Periodismo del Club de Periodistas de México y ha participado internacionalmente como productor (junto con televisoras y productoras de Gran Bretaña, Polonia y la República Checa) de la animación Pedro y el Lobo, que ha sido ganadora del premio Oscar 2008.

**MUAC.**



El Museo Universitario Arte Contemporáneo **MUAC**, abrió sus puertas a finales del 2008 con el fin de albergar la colección de arte contemporáneo de la UNAM una de las más grandes del continente dentro de un espacio que desde su concepción buscar convertirse en uno de los referentes mundiales del arte de nuestros días.



De esta manera el museo fue diseñado por el arquitecto Teodoro González de León, dentro de un predio ubicado en el Centro Cultural Universitario de la UNAM en Ciudad Universitaria. Este proyecto viene a complementar las actividades de este centro cultural dedicado a las artes plásticas y escénicas, además de dotar de una nueva plaza de acceso a los edificios del conjunto.

En este museo podemos asimismo involucrarnos las apasionantes propuestas del arte actual en el mundo con obras artistas como Gabriel Orozco, Jan Hendrix, Thomas Glassford, Melanie Smith, Robert Cappa, Francis Alys y Vicente Rojo así como un importante número de obras de artistas emergentes que tienen en este recinto cultural un sitio propicio para la difusión de su propio lenguaje.

Además de los espacios propiamente dedicados a las actividades de exhibición el Museo Universitario Arte Contemporáneo cuenta con talleres de restauración y mantenimiento de obras de arte, un auditorio, sala de conferencias, tienda y una importante biblioteca y centro de documentación que albergará uno de los acervos más importantes sobre arte actual en el mundo.

**BIBLIOTECA NACIONAL.**



La Biblioteca Nacional de México fue fundada en 1867, inaugurándose formalmente en 1884 en la sede del ex convento de San Agustín. Posteriormente, en 1914 a causa del movimiento de revolución, el gobierno federal la entregó por primera vez a la Universidad Nacional para su protección; al término del conflicto armado en 1921, la Biblioteca fue devuelta al Gobierno e incorporada a la Secretaría de Educación Pública. Sin embargo, a partir de ese año y hasta diciembre de 1928 sufrió serios avatares administrativos, por lo que fue puesta de nuevo en custodia universitaria cuando la Universidad Nacional obtuvo su



autonomía en junio de 1929. Actualmente la Biblioteca Nacional es administrada por el Instituto de Investigaciones Bibliográficas de la UNAM, pero conserva su carácter nacional, y bajo la custodia universitaria ha encontrado condiciones favorables para su crecimiento.

### **UNIDAD BIBLIOGRÁFICA.**

En 1964 surgió la idea de que la Universidad debía conformar su archivo histórico, por consiguiente, vino a concretarse en 1976 cuando se estableció, por acuerdo del Rector Ignacio Chávez, una oficina de la Dirección General de Bibliotecas que debía organizar la documentación histórica de la Universidad.

La Universidad Nacional Autónoma de México ha guardado en los archivos de sus Escuelas y Facultades, Centros e Institutos de Investigación, Laboratorios y Bibliotecas, documentos que abarcan desde sus lejanos antecedentes coloniales hasta recientes acontecimientos de su vida institucional.

El Archivo Histórico de la UNAM (AHUNAM), está a disposición de todos los interesados en el acontecer universitario y en el devenir histórico de nuestro país en general, ofrece también los elementos básicos para acceder a esos documentos, que cuidadosamente conservado, retratan la gran experiencia universitaria a lo largo del tiempo.

La importancia del AHUNAM radica, en primer lugar, en constituir una fuente para sustentar las indagaciones de la tarea central de investigación; siendo además un espacio privilegiado para el resguardo sistemático de la memoria de la institución que garantiza, de manera corresponsable, fuentes para su estudio.



### **UBICACIÓN TEÓRICA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL 7**

Para calcular la ubicación geográfica de la subestación general 7, se calculó el centro de la carga instalada en el CCU de dos maneras, primero sin considerar la Subestación General 3, y la segunda, considerando la Subestación General 3, en ambos casos se hace uso del siguiente método:

En un plano del CCU se realizó una cuadrícula de 0.1 x 0.1 km. En dicho plano se colocaron las cargas instaladas, con lo cual se calcularon los momentos de carga con las siguientes ecuaciones:

$$M_x = \Sigma(MVA * distancia\ en\ el\ eje\ x - x)$$

$$M_y = \Sigma(MVA * distancia\ en\ el\ eje\ y - y)$$

Después con los datos adquiridos, finalmente se determinaron las coordenadas del centro de carga con las siguientes ecuaciones:

$$x_{cc} = \frac{M_x}{\Sigma_{MVA}}$$

$$y_{cc} = \frac{M_y}{\Sigma_{MVA}}$$



En la siguiente tabla se muestran los datos utilizados para el cálculo del centro de carga sin tomar en cuenta la Subestación General 3

Dependencia	MVA	Coord. X	Coord. Y	ΣMVA X dist X	ΣMVA X dist Y
REGISTRO DE ALUMNOS	0.15	22.5	2.5	3.375	0.375
CENTRO DE CONTROL	0.1125	19	8	2.1375	0.9
PUBLICACIONES	0.075	17	2.5	1.275	0.1875
BODEGON UNIVERSUM	0.1125	16	16	1.8	1.8
TALLER MECÁNICO	0.075	18	11	1.35	0.825
COORDINACION DE POSGRADOS I	0.5	9	22.5	4.5	11.25
COORDINACION DE POSGRADOS II	1.25	14	24	17.5	30
DGIRE	0.3	21	31	6.3	9.3
POSGRADO FACULTAD DE ECONOMÍA	0.15	11	26	1.65	3.9
MUAC	1	28	57	28	57
UNIDAD BIBLIOGRAFICA	0.5	34	61	17	30.5
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	0.225	34	61	7.65	13.725
POLIDEPORTIVO	0.1125	82	4	9.225	0.45
ALMACENES Y SERVICIOS DIVERSOS	0.1125	57.5	3	6.46875	0.3375
ALMACEN DE BAJAS	0.075	64	3	4.8	0.225
OFICINAS ADMINISTRATIVAS EXTERIORES	0.5	36	17	18	8.5
UNIVERSUM	0.75	46	24	34.5	18
TEATRO JUAN RUIZ	0.75	28	45.5	21	34.125
SALA NEZAHUALCOYOTL	0.5	32	52	16	26
IISUE	0.1125	34.5	56	3.88125	6.3
COORDINACION DE HUMANIDADES	0.1125	46	46	5.175	5.175
II. FILOLOGICAS	0.1125	55	45	6.1875	5.0625
II. FILOSOFICAS	0.3	57.5	39	17.25	11.7
II. SOCIALES	0.1125	62	44	6.975	4.95
TV UNAM	0.75	85	44	63.75	33
CUEC	0.5	91	54	45.5	27
II. ECONOMICAS	0.225	60	59	13.5	13.275
II. JURIDICAS	0.5	54	52	27	26
II. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	0.1125	50	48	5.625	5.4
FONDO RESERVADO	0.15	39	63	5.85	9.45
	10.2375			403.225	394.7125
<b>SUMA</b>	<b>10.2375 [MVA]</b>			<b>403.225 [U.L.]</b>	<b>394.7125 [U.L.]</b>

**Xcc = 39.39[U.L]**

**Ycc = 38.56[U.L]**



Para el cálculo de la ubicación geográfica de la Subestación General 7, se tomaron en cuenta las estructuras de los anillos 'L', 'M', 'N', mostrados en las figuras 1.2, 1.3, 1.4.

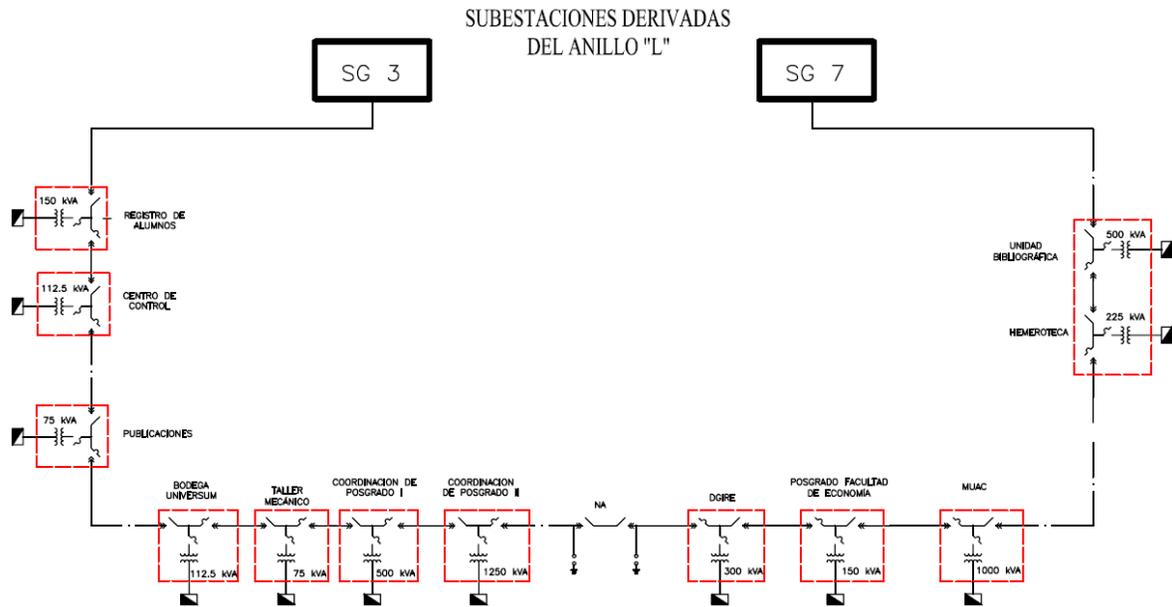


Fig. 1.2 Diagrama unifilar del anillo 'L'

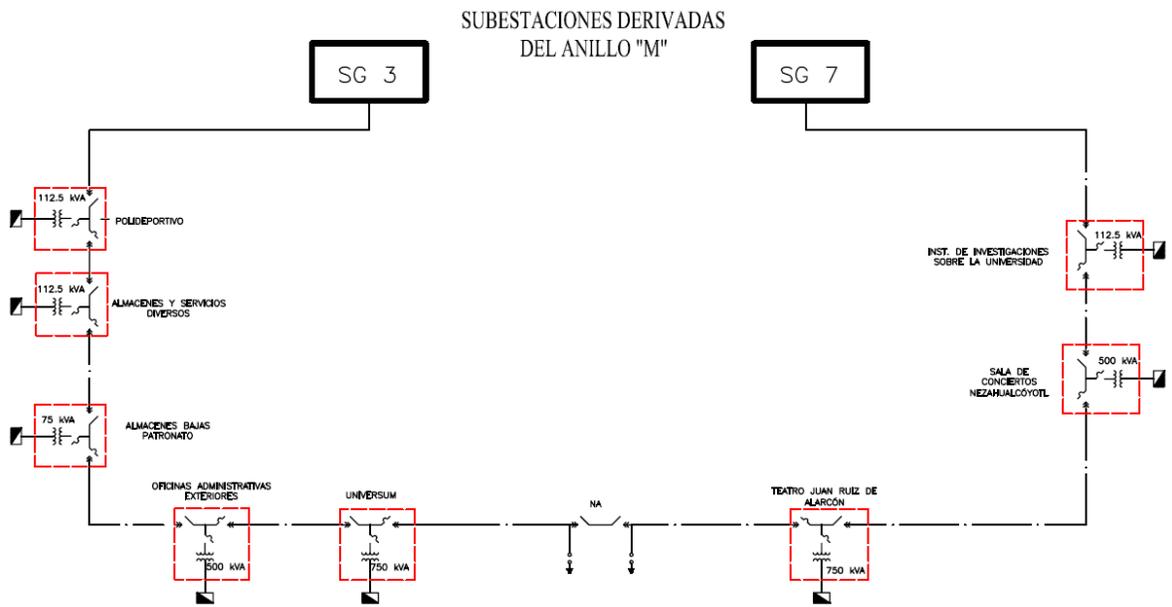


Fig. 1.3 Diagrama unifilar del anillo 'M'

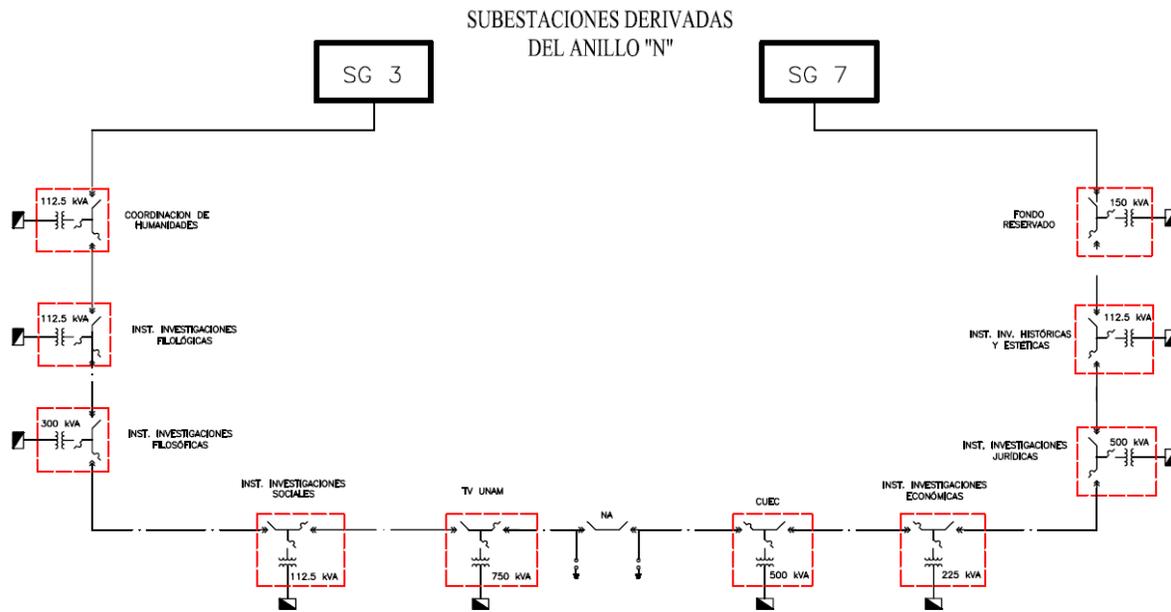


Fig. 1.4 Diagrama unifilar del anillo 'N'

En la siguiente tabla se muestran los datos utilizados para el cálculo del centro de carga tomando en cuenta la Subestación General 3

Dependencia	KVA	MVA	Coord. X	Coord. Y	$\Sigma MVA \times \text{dist } X$	$\Sigma MVA \times \text{dist } Y$
DGIRE	300	0.3	21	31	6.3	9.3
POSGRADO FACULTAD DE ECONOMÍA	150	0.15	11	26	1.65	3.9
MUAC	1000	1	28	57	28	57
UNIDAD BIBLIOGRAFICA	500	0.5	34	61	17	30.5
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	225	0.225	34	61	7.65	13.725
TEATRO JUAN RUIZ	750	0.75	28	45.5	21	34.125
SALA NEZAHUALCOYOTL	500	0.5	32	52	16	26
IISUE	112.5	0.1125	34.5	56	3.88125	6.3
CUEC	500	0.5	91	54	45.5	27
II. ECONOMICAS	225	0.225	60	59	13.5	13.275
II. JURIDICAS	500	0.5	54	52	27	26
II. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	112.5	0.1125	50	48	5.625	5.4
FONDO RESERVADO	150	0.15	39	63	5.85	9.45
		5.025			198.95625	261.975
<b>SUMA</b>		<b>5.025 [MVA]</b>			<b>198.95625 [U.L]</b>	<b>261.975 [U.L]</b>

$$X_{cc} = X_{cc} = 39.6[U.L]$$

$$Y_{cc} = Y_{cc} = 52.2[U.L]$$



En el mapa se muestran localizadas las dependencias, así como el centro de carga (con una cruz color naranja) calculado para cada uno de los dos casos, es decir considerando y no considerando a la Subestación General 3.

Como se puede apreciar en el segundo caso (considerando a la Subestación General 3) la ubicación teórica de la Subestación General 7 queda ubicada dentro de la reserva ecológica perteneciente a el espacio escultórico por lo cual es conveniente moverla un poco para no afectar la zona ecológica; además de que se tendría más cerca la acometida a la subestación, ya que se propone moverla hacia la Av. Insurgentes; como se muestra en la figura 1.5.

Las siguientes tablas muestran la información de las subestaciones derivadas del CCU, que se aprecian en la figura 1.5.

ANILLO 'L'		
No.	DEPENDENCIA	CAP. INST [kVA]
1	REGISTRO DE ALUMNOS	150
2	CENTRO DE CONTROL	112.5
3	PUBLICACIONES	75
4	BODEGON UNIVERSUM	112.5
5	TALLER MECÁNICO	75
6	COORDINACION DE POSGRADOS I	500
7	COORDINACION DE POSGRADOS II	1250
TOTAL=		2275
PUNTO NORMALMENTE ABIERTO		
8	DGIRE	300
9	POSGRADO FACULTAD DE ECONOMÍA	150
10	MUAC	1000
11	UNIDAD BIBLIOGRAFICA	500
11	HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	225
TOTAL=		2175

ANILLO 'M'		
No.	DEPENDENCIA	CAP. INST [kVA]
12	POLIDEPORTIVO	112.5
13	ALMACENES Y SERVICIOS DIVERSOS	112.5
14	ALMACEN DE BAJAS	75
15	OFICINAS ADMIN. EXTERIORES	500
16	UNIVERSUM	750
TOTAL=		1550
PUNTO NORMALMENTE ABIERTO		
17	TEATRO JUAN RUIZ	750
18	SALA NEZAHUALCOYOTL	500
19	IISUE	112.5
TOTAL=		1362.5

ANILLO 'N'		
No.	DEPENDENCIA	CAP. INST [kVA]
20	COORDINACION DE HUMANIDADES	112.5
21	II. FILOLOGICAS	112.5
22	II. FILOSOFICAS	300
23	II. SOCIALES	112.5
24	TV UNAM	750
TOTAL=		1387.5
PUNTO NORMALMENTE ABIERTO		
25	CUEC	500
26	II. ECONOMICAS	225
27	II. JURIDICAS	500
28	II. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	112.5
29	FONDO RESERVADO	150
TOTAL=		1487.5

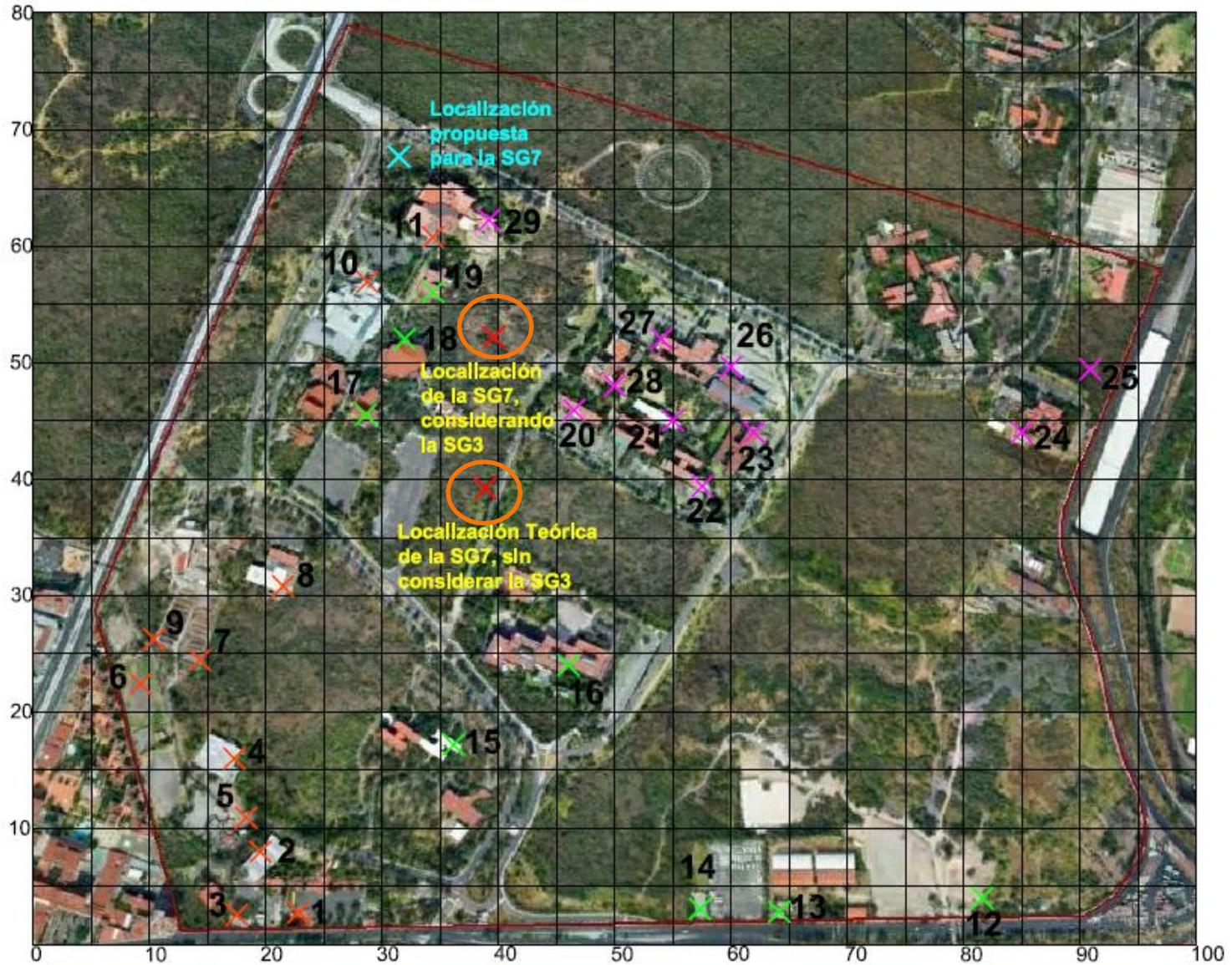


Fig. 1.5 Ubicaciones teóricas y propuesta para las Subestación General 7.



## **CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES**

Para el desarrollo del presente trabajo, se realizaron recorridos en las instalaciones de la Red Eléctrica Subterránea del Centro Cultural Universitario, para observar, medir y evaluar las condiciones actuales de la red de distribución que provee de energía eléctrica a este complejo cultural.

Para iniciar estos recorridos, fue necesario obtener documentos, oficios e información correspondiente en diversas dependencias del Centro Cultural Universitario, para poder acceder a realizar el diagnóstico y evaluación en las subestaciones derivadas de la Subestación Eléctrica General No. 3 y de los circuitos que conforman la red.

Nuestro recorrido lo iniciamos en la Subestación General No. 3 hasta las subestaciones derivadas, las cuales forman parte del Centro Cultural Universitario.

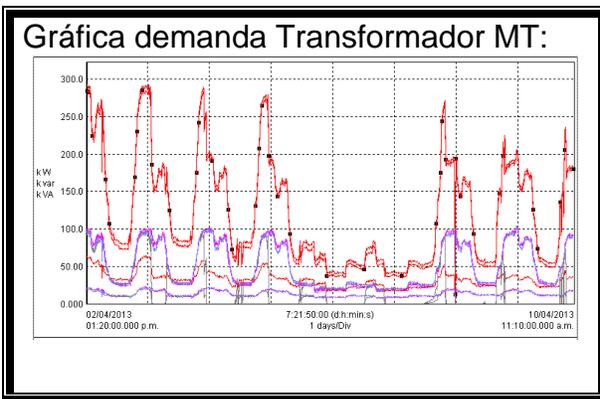
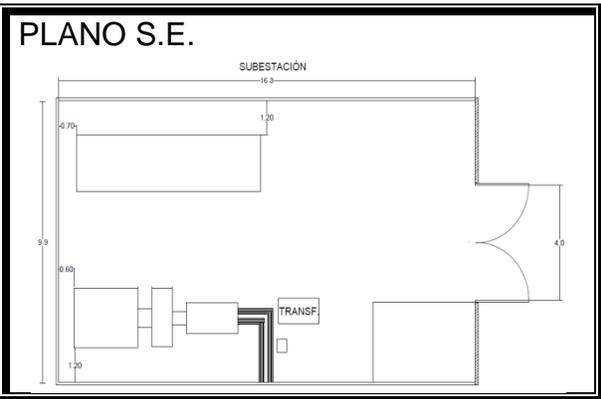
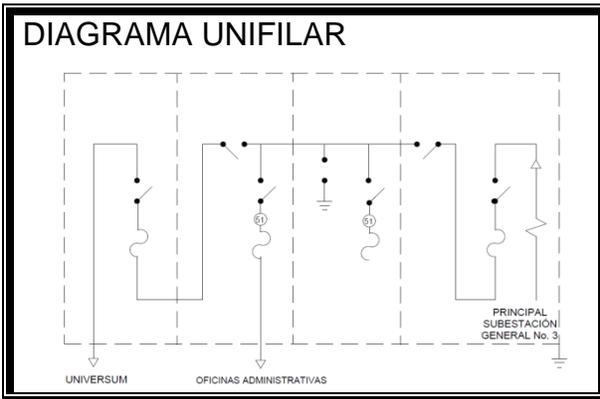
A continuación se describen los edificios que forman actualmente el Centro Cultural Universitario.





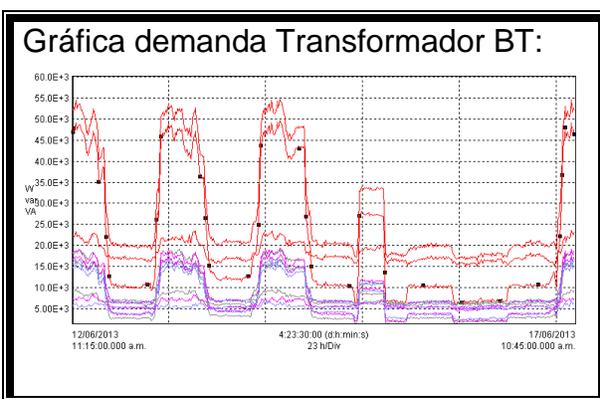
- **OFICINAS ADMINISTRATIVAS**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	CEESSA
No. DE SERIE	577
TENSIÓN	23000 V
CORRIENTE	600 A
No. DE SECCIONES	4
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR MT</b>	
CAPACIDAD	750 kVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	ELMEX
TIPO	OA
CLASE	25
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	6.2 %
PESO TOTAL	4640 kg
No. SERIE	88171-1
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.3/ 2.3/ 2.1 m
<b>TRANSFORMADOR SECO</b>	
CAPACIDAD	112.5 kVA
TENSIÓN	480 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	VICTORY
TIPO	SECO
CLASE	H
AISLAMIENTO	SECO
IMPEDANCIA	3.5 %
PESO TOTAL	NO INDICA
No. SERIE	6946
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	0.52/ 0.94/ 0.76 m
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	0.95 $\Omega$



**Demanda máxima: 293.275 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Units
VA Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	122.808	13.192	293.275	k VA
VA1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	19.671	0.000	96.644	k VA
VA2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	52.155	6.672	103.771	k VA
VA3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	50.982	6.520	102.596	k VA
var Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	32.449	2.608	64.458	k var
var1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	5.023	0.000	20.910	k var
var2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	13.687	1.371	23.376	k var
var3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	13.739	1.237	22.671	k var
W Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	117.893	12.931	286.241	k W
W1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	18.949	0.000	94.759	k W
W2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	50.099	6.530	101.842	k W
W3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	48.844	6.401	100.805	k W



**Demanda máxima: 54.717 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	28.935	16.395	54.717	k VA
VA1	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	10.008	5.870	19.302	k VA
VA2	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	9.770	4.955	19.387	k VA
VA3	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	9.157	5.265	17.230	k VA
var Total	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	18.197	15.032	23.639	k var
var1	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	6.860	5.418	9.718	k var
var2	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	5.889	4.407	8.365	k var
var3	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	5.448	4.434	6.936	k var
W Total	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	20.868	6.117	49.541	k W
W1	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	6.601	1.574	16.946	k W
W2	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	7.342	1.870	18.010	k W
W3	12/06/2013	11:15:00.000 a.m.	6.924	2.273	16.147	k W

**Acervo fotográfico**



**Tablero y transformador MT**



**Cuarto de la S.E**



**Transformador de BT.**



**Objetos almacenados dentro de la subestación.**



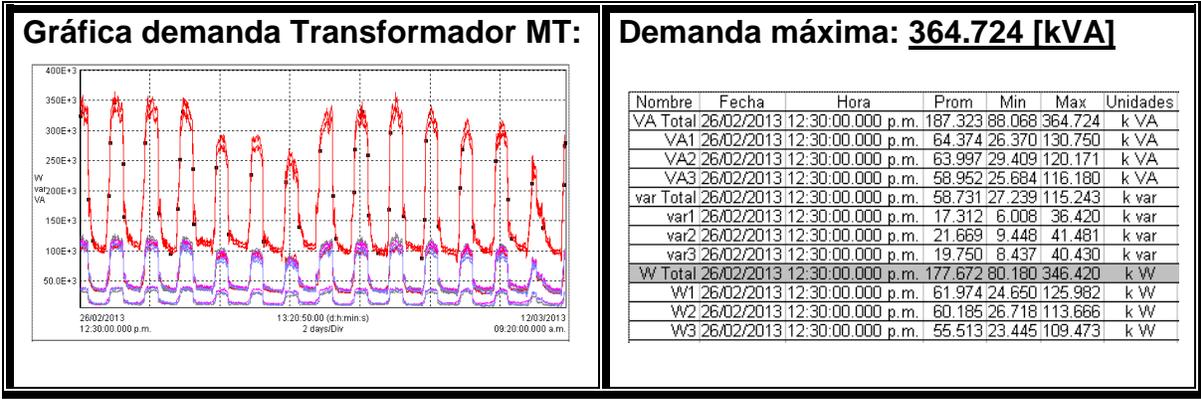
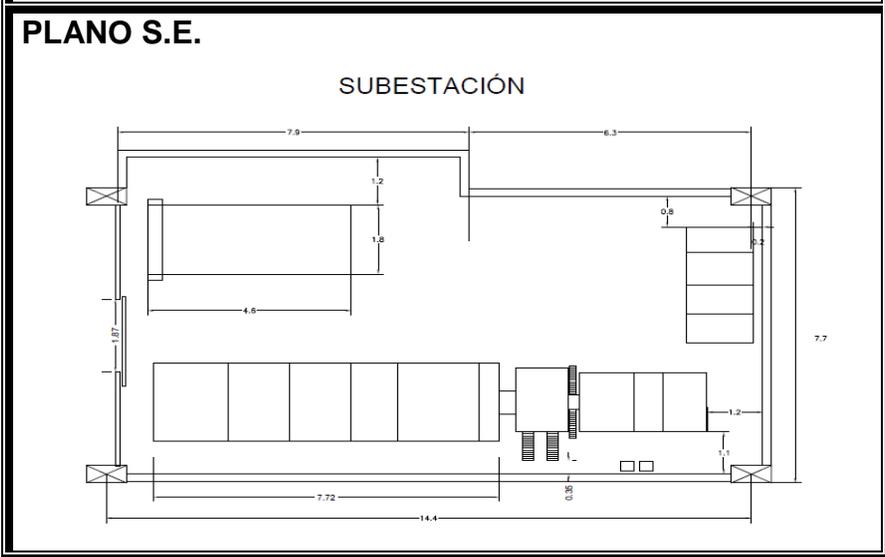
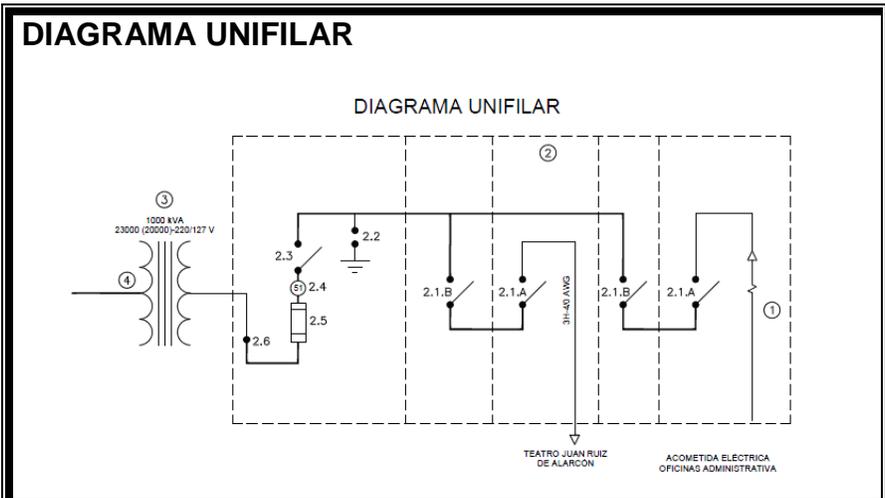
Esta subestación cuenta con un transformador de media tensión de 750 [kVA], y un transformador seco en de 112.5 [kVA], este último alimenta al BODEGÓN.



La subestación se encuentra bien ubicada, es de fácil acceso y las dimensiones de la puerta son adecuadas, siendo factible retirar el transformador de la subestación, en caso de requerir equipos nuevos. Cabe mencionar, que algunos conductores están sueltos, es decir, no se encuentran sujetos a sus respectivos soportes mecánicos y/o canalizaciones, por lo que representa un peligro para el personal al momento de efectuar alguna operación dentro de la subestación.

- **MUSEO DE LAS CIENCIAS UNIVERSUM**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	SQD
No. DE SERIE	31050101
TENSIÓN	23000 V
CORRIENTE	2000 A
No. DE SECCIONES	5
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR MT</b>	
CAPACIDAD	1000 kVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	CONTINENTAL ELECTRIC
TIPO	INTERIOR
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	3.9 %
PESO TOTAL	5295 kg
No. SERIE	4003-12546
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	4/0
MEDICIÓN	24 Ω
<b>PLANTA DE EMERGENCIA</b>	
POTENCIA	700000 W
FACTOR DE POTENCIA	0.8
CAPACIDAD	875 kVA
VOLTAJE	220/440
AMPERIOS	2299/1149
FASES	3
HILOS	4
CONEXIÓN	ESTRELLA
No DE SERIE	41785178-1



### Acervo fotográfico



Acceso a la subestación



Cuarto de la S.E



Planta de emergencia



Transformador MT



Objetos almacenados dentro de la S,E

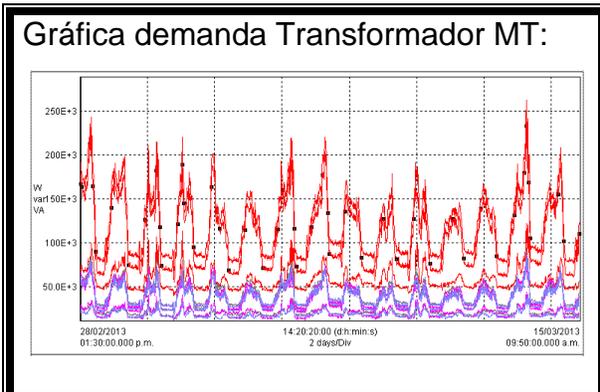
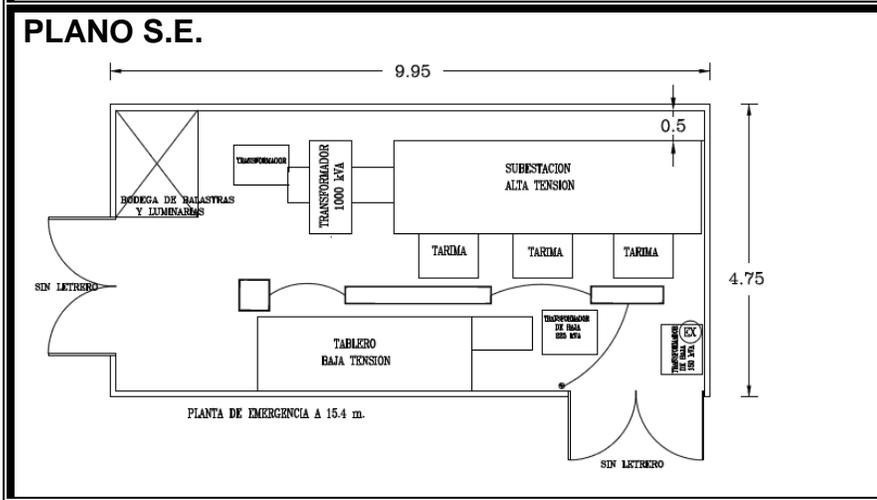
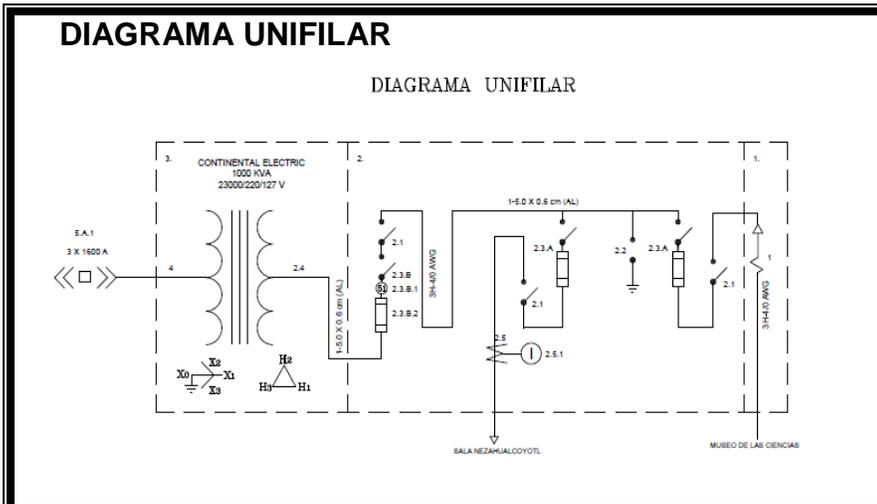


Esta subestación, sólo cuenta con un transformador en media tensión de 1000 [kVA]; se encuentra bien ubicada, tiene un fácil acceso y la puerta es lo suficientemente grande para retirar o ingresar equipos a la misma. Dentro de estas instalaciones, se observó que se usa como bodega, destacando la presencia de materiales inflamables. Cabe mencionar que la dependencia cuenta con una planta de emergencia, y ésta se encuentra ubicada dentro de la misma subestación.



• **TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	CEESSA
No. DE SERIE	333
TENSIÓN	23000 V
CORRIENTE	300 A
No. DE SECCIONES	3
APARTARRAYOS	NO TIENE
<b>TRANSFORMADOR MT</b>	
CAPACIDAD	1000 kVA
TENSIÓN	23000 - 220Y / 127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	CONTINENTAL ELECTRIC
TIPO	INTERIOR
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	4.5%
No. SERIE	4003-11831
<b>TRANSFORMADOR BT (CINES)</b>	
CAPACIDAD	150 kVA
TENSIÓN	480 – 220Y/127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	SQUARE D COMPANY
TIPO	SO
CLASE	AA
AISLAMIENTO	SECO
IMPEDANCIA	4.5%
No. SERIE	2101311053A
<b>TRANSFORMADOR BT (FORO SOR JUANA/ SALA COVARRUBIAS/JUAN RUIZ)</b>	
CAPACIDAD	225 kVA
TENSIÓN	480 – 220Y/127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	SQUARE D COMPANY
TIPO	SO
CLASE	AA
AISLAMIENTO	SECO
IMPEDANCIA	5.7%
No. SERIE	3110111003A
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	4/0
MEDICIÓN	25 Ω



### Demanda máxima: **263.170 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	123.357	68.343	263.170	k VA
VA1	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	42.820	23.603	93.498	k VA
VA2	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	40.439	21.845	86.789	k VA
VA3	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	40.099	21.397	82.883	k VA
var Total	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	57.886	39.629	121.593	k var
var1	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	20.395	11.870	41.624	k var
var2	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	19.451	11.608	44.042	k var
var3	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	18.040	11.785	39.415	k var
W Total	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	108.365	54.761	233.127	k W
W1	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	37.405	17.955	83.701	k W
W2	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	35.321	17.145	74.758	k W
W3	28/02/2013	01:30:00.000 p.m.	35.639	17.441	76.131	k W

### Acervo fotográfico



Acceso a la S.E



Cuarto de la S.E



Transformador 1000KVA



TR. BT CINES 150 [kVA]



TR. BT Foros 250 [kVA]



Objetos almacenados dentro de la S.E



Esta subestación cuenta con un transformador en MT de 1000 [kVA] y dos más en baja tensión que alimentan a los foros y los cines de 150 y 250 [kVA] respectivamente. El acceso a esta subestación, es complicado y la puerta de acceso a la misma es pequeña, lo que dificulta la maniobra de los equipos; el estado de los bancos de conductores, charolas, gabinetes y tableros es bueno. Por otra parte, ésta subestación se utiliza como bodega además de que en el



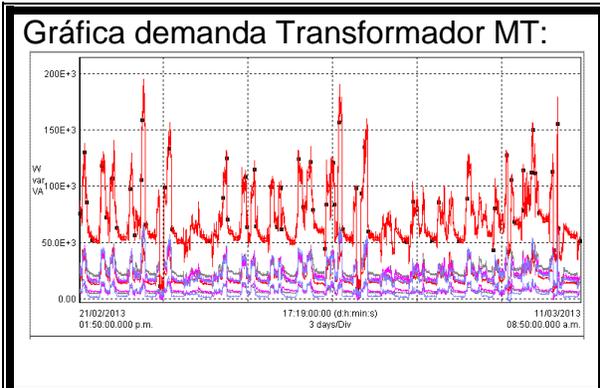
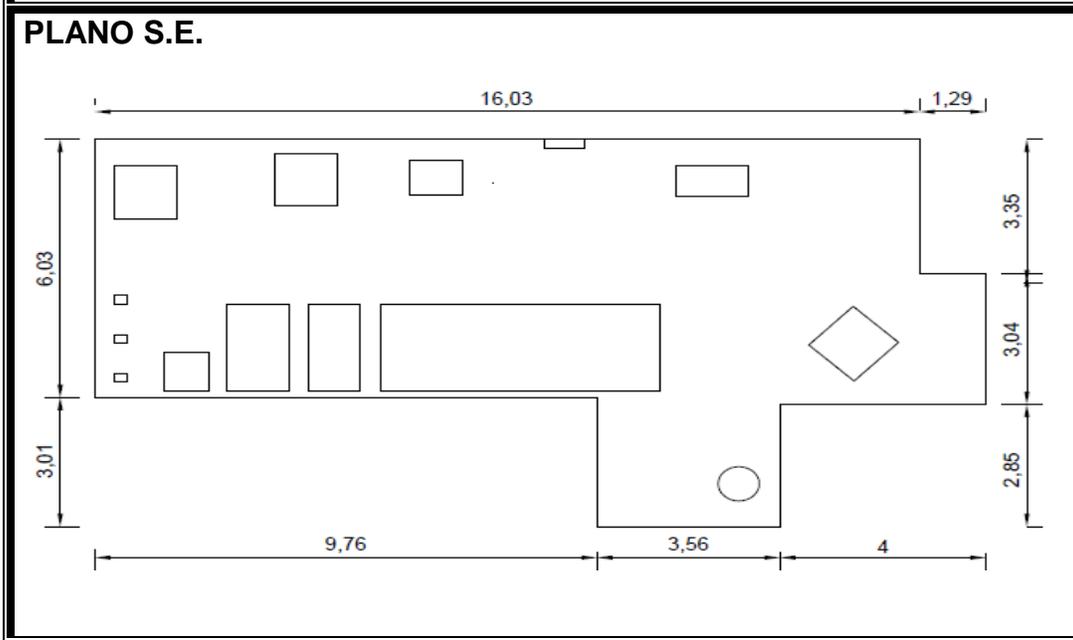
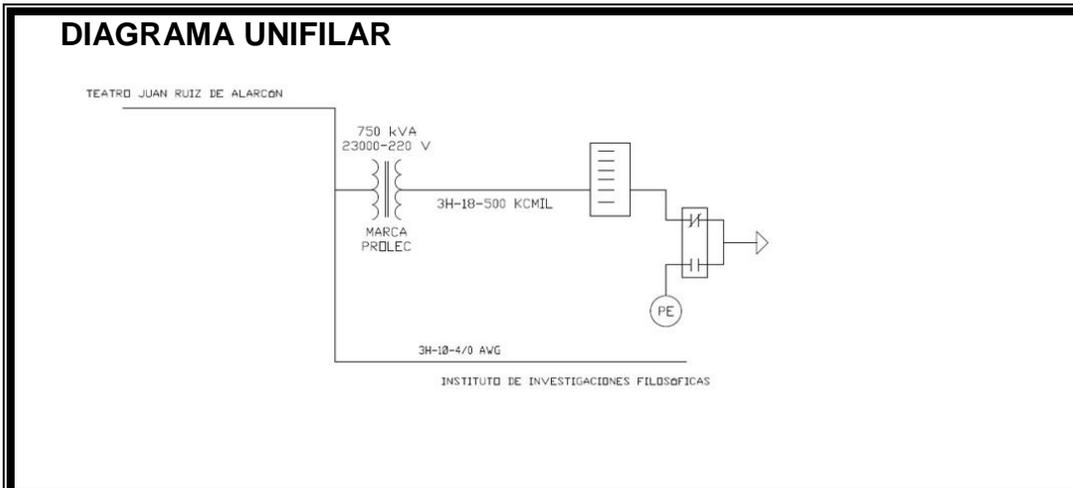
suelo se encuentran una gran cantidad de cables inservibles, presentando un riesgo para el personal que labore dentro de esta subestación.

- **SALA NEZAHUALCÓYOTL**

<b>TRANSFORMADOR PRINCIPAL</b>	
CAPACIDAD	750 KVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	PROLEC
TIPO	PEDESTAL
CLASE	25 000
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	5.6 %
PESO TOTAL	4,853 Kg
No. SERIE	-----
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.80 / 1.90 / 1.85 m

<b>TRANSFORMADOR BAJA TENSIÓN</b>	
CAPACIDAD	300 kVA
TENSIÓN	480 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	SQUARE D
TIPO	SECO
CLASE	-----
AISLAMIENTO	AIRE
IMPEDANCIA	4.79 %
PESO TOTAL	667 kg
No. SERIE	35949-21112-005
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.22, 1.22, 2.30 m

<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	4/0 AWG
MEDICIÓN	9 Ω



### Demanda máxima: **194.825 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	72.893	7.915	194.825	k VA
VA1	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	26.658	3.219	67.463	k VA
VA2	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	23.888	2.258	63.954	k VA
VA3	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	22.346	2.354	63.408	k VA
var Total	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	20.172	4.942	88.954	k var
var1	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	6.844	1.488	27.123	k var
var2	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	7.711	-0.985	30.945	k var
var3	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	5.617	-2.939	30.887	k var
W Total	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	69.724	5.318	189.495	k W
W1	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	25.732	2.185	65.792	k W
W2	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	22.510	1.354	61.511	k W
W3	21/02/2013	01:50:00.000 p.m.	21.482	1.681	62.192	k W

### Acervo fotográfico



Tablero



Cuarto de la S.E



TR. MT 750 [kVA]



TR. MT BT 300 [kVA]



Cuarto S.E



Objetos almacenados dentro de la S.E



Esta subestación cuenta con un transformador tipo pedestal de 750 [kVA], el cual se encuentra en el exterior del inmueble. El gabinete y los tableros de distribución se localizan en el sótano de la dependencia. La subestación es utilizada como bodega.

Cabe mencionar que a los bancos de conductores y charolas, les falta mantenimiento, ya que algunas se encuentran maltratadas.



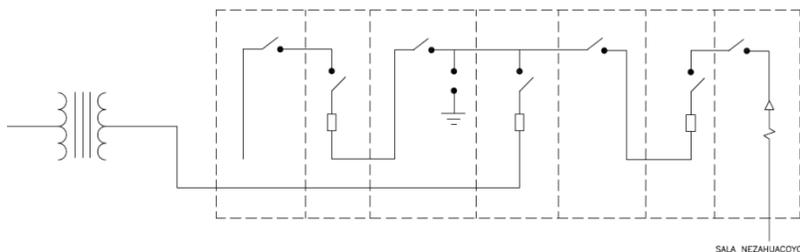
• **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	ELMEX
No. DE SERIE	-----
TENSIÓN	23 kV
CORRIENTE	-----
No. DE SECCIONES	3
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR MT</b>	
CAPACIDAD	750 kVA
TENSIÓN	60 Hz
FRECUENCIA	23000 – 220Y/127 V
MARCA	IESA
TIPO	OA
CLASE	25 kV
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	6.1 %
PESO TOTAL	2720 kg
No. SERIE	10323-1-1
ANCHO / ALTO / LARGO	1.69 / 1.48 / 2.42 m
<b>TRANSFORMADOR BT</b>	
CAPACIDAD	150 kVA
TENSIÓN	60 Hz
FRECUENCIA	480 – 277Y / 240 – 138.5Y V
MARCA	IEM
TIPO	POSTE
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	5.6 %
PESO TOTAL	1180 kg
No. SERIE	1-X-1764-1
ANCHO / ALTO / LARGO	0.7 / 1.40 / 1.0 m
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0



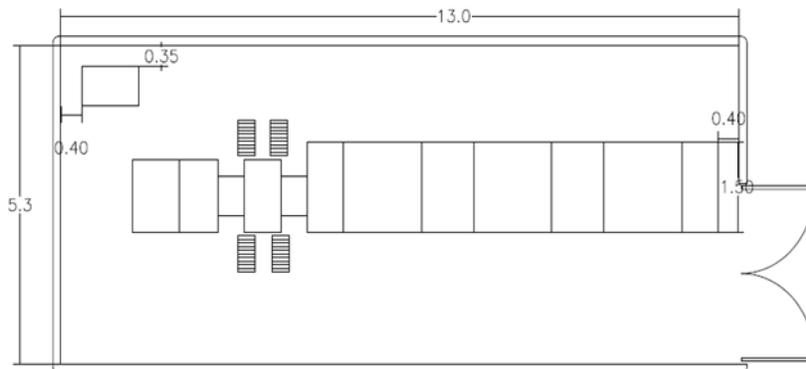
### DIAGRAMA UNIFILAR

DIAGRAMA UNIFILAR INST. DE INVESTIGACIONES FILISÓFICAS

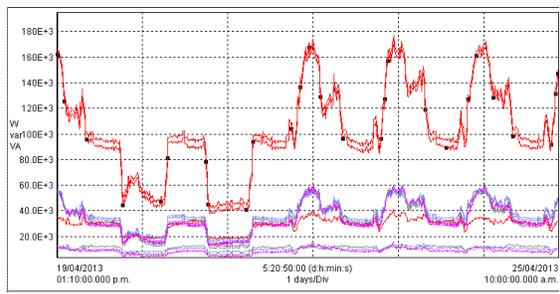


SALA NEZAHUACÓYOTL

### PLANO S.E.



Gráfica demanda Transformador MT:



Demanda máxima: **177.152 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	104.160	41.681	177.152	k VA
VA1	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	33.933	11.925	59.103	k VA
VA2	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	33.467	13.385	60.056	k VA
VA3	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	36.760	15.717	59.920	k VA
var Total	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	29.317	17.401	41.293	k var
var1	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	10.642	5.287	14.716	k var
var2	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	8.490	3.798	15.719	k var
var3	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	10.185	6.684	14.128	k var
W Total	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	99.635	37.002	172.604	k W
W1	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	32.081	10.272	57.812	k W
W2	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	32.321	12.639	58.644	k W
W3	19/04/2013	01:10:00.000 p.m.	35.233	13.732	58.358	k W

**Acervo fotográfico**



**Tablero**



**Cuarto de la S.E**



**TR MT. 750 [kVA]**



**Acceso a la S.E**



**Equipo de medición**



**TR. BT 150[kVA]**





La subestación cuenta con un transformador de MT de 750 [kVA] y uno en BT de 150[kVA], el acceso a la misma es complicado, ya que en el cuarto lo utilizan como bodega, y almacenan grandes cantidades de objetos ajenos a la subestación, obstaculizando el paso y poniendo en riesgo al personal que labora dentro de la subestación. La puerta de acceso es muy pequeña, por lo que maniobrar equipo de la subestación será muy difícil.

La Coordinación de Humanidades se encuentra alimentada de esta subestación del transformador de 150[kVA], debido a que la distancia es muy grande entre ambas dependencias, en el presente trabajo, proponemos crear una subestación que alimente exclusivamente a la Coordinación de Humanidades.

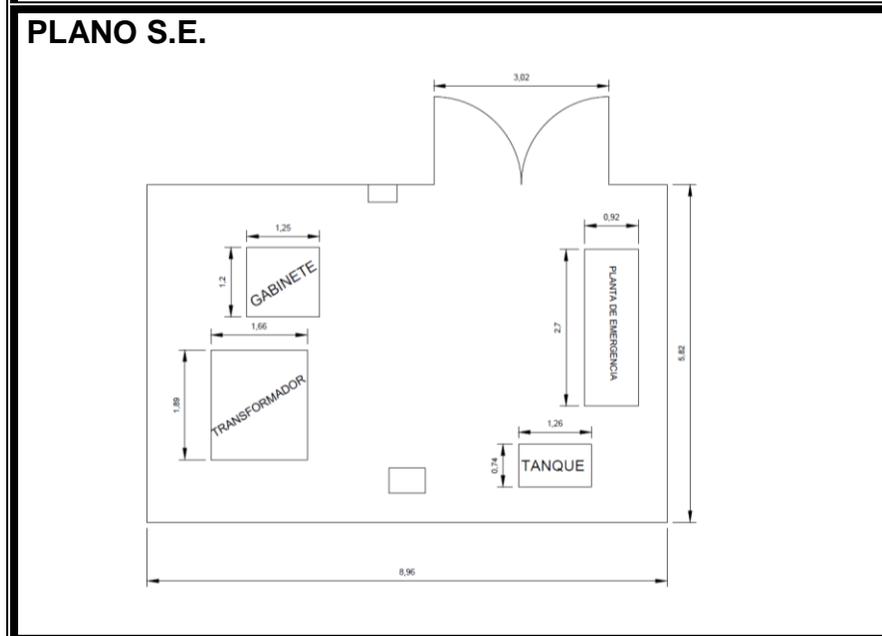
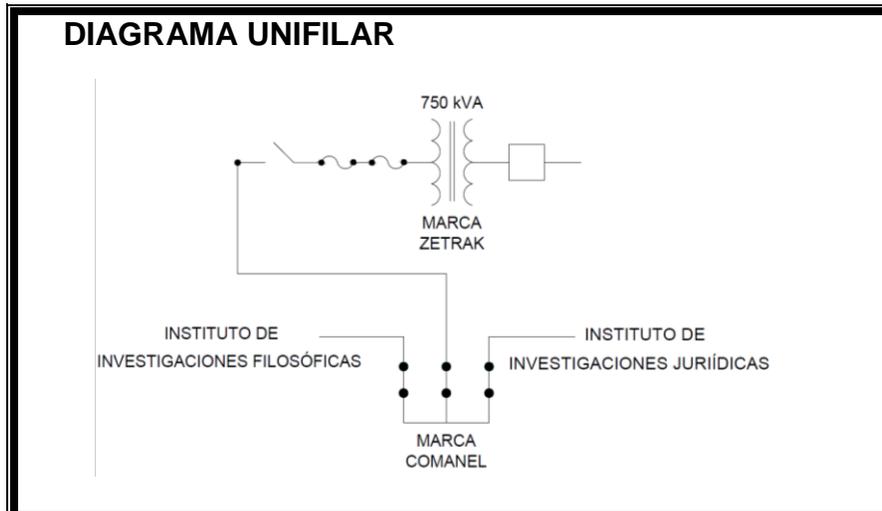
Actualmente el cuarto que alberga el transformador de baja tensión se encuentra muy sucio. Los equipos eléctricos se encuentran descuidados y algunos maltratados.

• **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS**

<b>TRANSFORMADOR</b>	
CAPACIDAD	750 kVA
TENSIÓN	23 kV – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	ZETRAK
TIPO	PEDESTAL
AISLAMIENTO	ACEITE
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.66 / 1.55 / 1.89 m
<b>PLANTA DE EMERGENCIA</b>	
CAPACIDAD	250 kVA
TENSIÓN	220 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	OTTOMOTORES
TIPO	AUTOMÁTICA
AISLAMIENTO	ACEITE
PESO TOTAL	1642 kg
No. SERIE	26523
FACTOR DE POTENCIA	0.8
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	0.92 / 1.7 / 2.7 m



SISTEMA DE TIERRAS	
CALIBRE	4/0
MEDICIÓN	18 Ω



**Acervo fotográfico**



Acceso a la S.E



Tablero



TR. MT 750 [kVA]



Las instalaciones se encuentran en buen estado.  
Cuentan con una planta de emergencia.



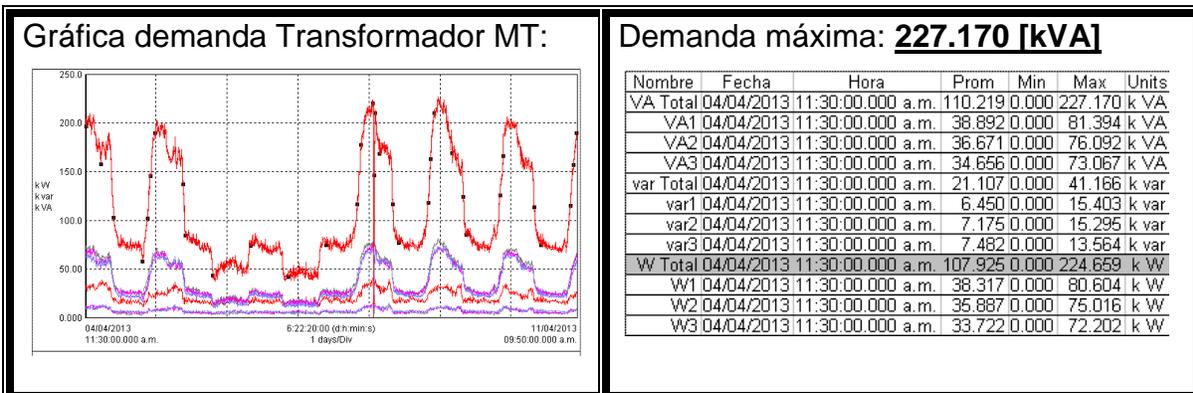
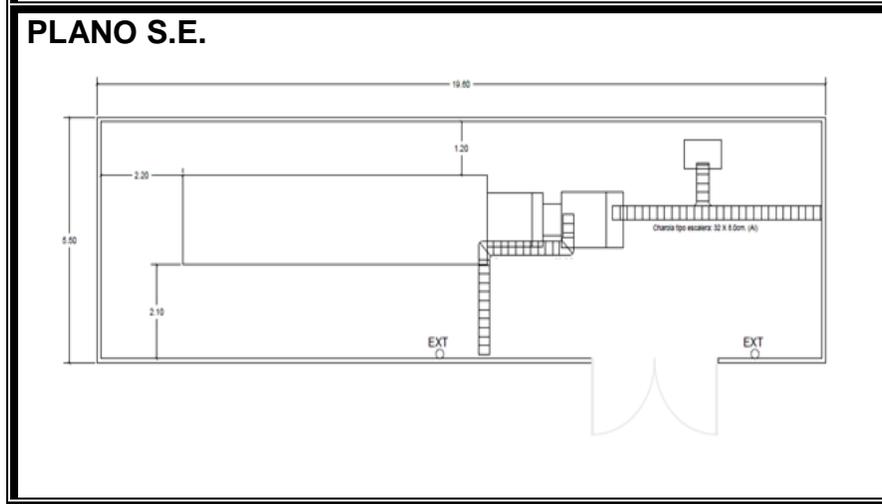
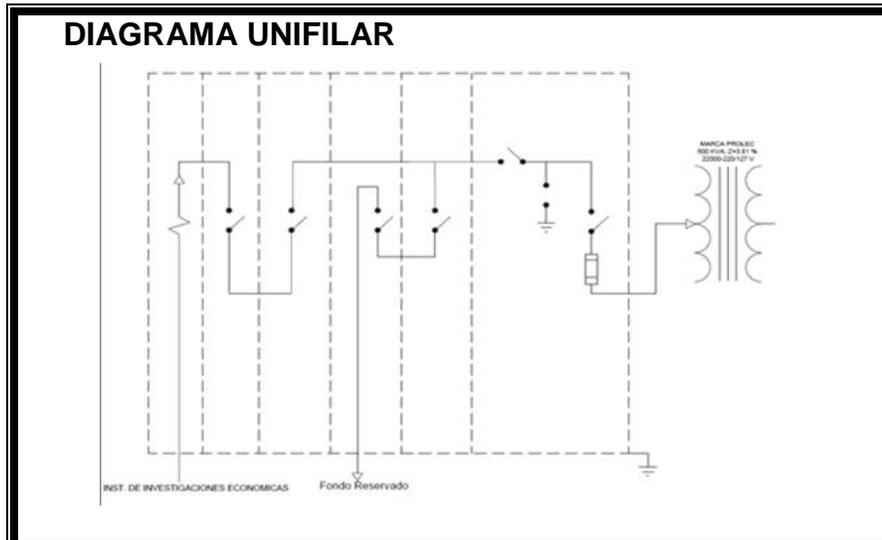


La subestación cuenta con un transformador en MT de 750[kVA], está bien ubicada y se encuentra en perfecto estado, presenta filtraciones de agua por debajo de la puerta de acceso.

- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	SUBESTACIÓN COMPACTA
MARCA	CESSA
No. DE SERIE	634
TENSIÓN	23 kV
CORRIENTE	-----
No. DE SECCIONES	4
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR</b>	
CAPACIDAD	500 kVA
TENSIÓN	22860 – 220/127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	PROLEC
TIPO	OA
CLASE	25 kV
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	3.8 %
PESO TOTAL	1884 kg
No. SERIE	D739-01-002
<b>TRANSFORMADOR (BAJA)</b>	
CAPACIDAD	225 kVA
TENSIÓN	480 - 220/127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	VOLTRAN
TIPO	SECO
CLASE	1.2 kV
IMPEDANCIA	4.35 %
PESO TOTAL	795 kg
No. SERIE	12844

<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	28 Ω



### Acervo fotográfico



### Cuarto de la S.E



### TR. BT 225 [kVA]



### TR MT. 500 [kVA]



### Equipo de medición



La subestación cuenta con un transformador en MT de 500[kVA] y uno en BT de 225[kVA] del cual se alimenta al Instituto de Investigaciones Históricas y Estéticas. Se encuentra bien ubicada, y la puerta de acceso es lo suficientemente grande como para maniobrar equipos dentro y fuera de la subestación.

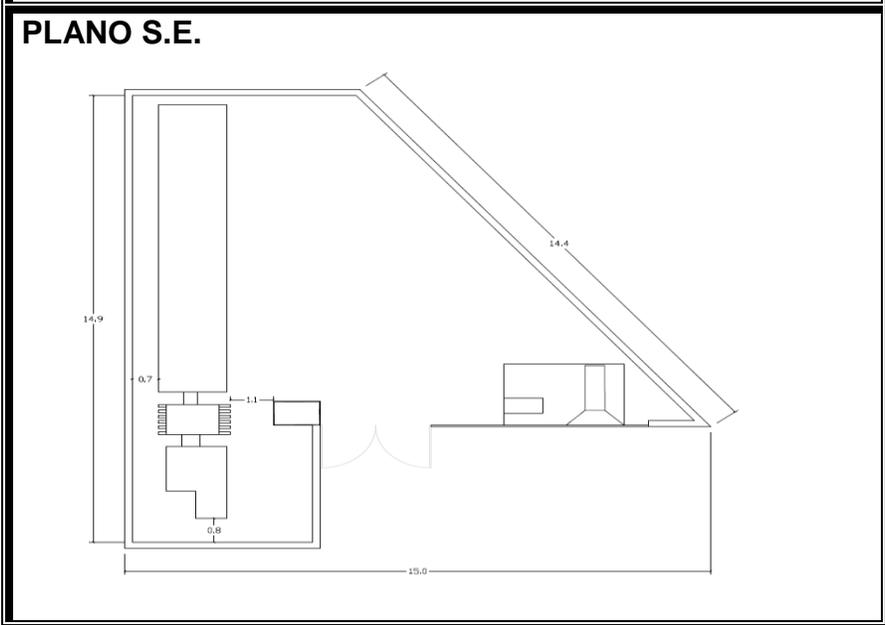
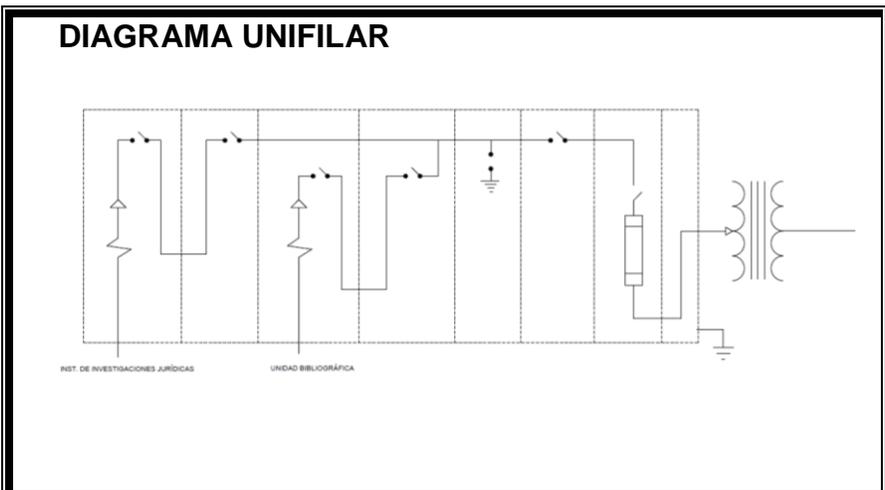


Esta dependencia, cuenta con una planta de emergencia que se encuentra inmediatamente afuera de la subestación y está resguardada por una malla metálica en buen estado.

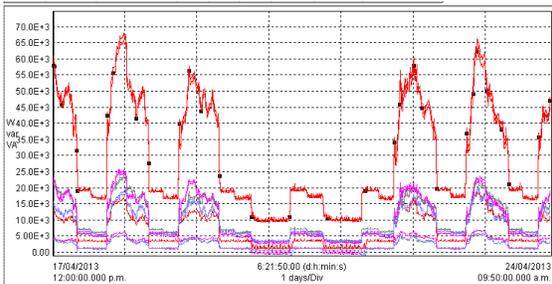
- **FONDO RESERVADO**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	SQD
No. DE SERIE	32I2401
TENSIÓN	23 kV
CORRIENTE	400 A
No. DE SECCIONES	8
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR</b>	
CAPACIDAD	500 kVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	TRAGESA
TIPO	OA
CLASE	25 kV
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	3.79 %
PESO TOTAL	2342 kg
No. SERIE	149046
ANCHO / ALTO / LARGO	1.77 / 2.14 / 1.60 m
<b>PLANTA DE EMERGENCIA</b>	
CAPACIDAD	75 kVA
TENSIÓN	23000 - 220 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	DALE
TIPO	AUTOMATIC
AISLAMIENTO	ACEITE
PESO TOTAL	713 kg
No. SERIE	M08J2053O4
FACTOR DE POTENCIA	0.8
ANCHO / ALTO / LARGO	3.11 / 3.78 / 3.72 m

<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	23 Ω



Gráfica demanda Transformador MT:



Demanda máxima: **67.950 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	29.243	9.632	67.950	k VA
VA1	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	10.437	3.436	23.815	k VA
VA2	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	10.038	2.805	25.769	k VA
VA3	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	8.767	3.357	20.415	k VA
var Total	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	6.679	0.629	18.524	k var
var1	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	2.238	0.527	6.238	k var
var2	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	2.341	-0.587	6.868	k var
var3	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	2.101	-1.048	5.884	k var
W Total	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	28.376	9.347	65.808	k W
W1	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	10.179	3.379	23.233	k W
W2	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	9.710	2.749	25.100	k W
W3	17/04/2013	12:00:00.000 p.m.	8.486	3.180	19.548	k W

**Acervo fotográfico**



**Puerta de acceso**



**Cuarto de la S.E**



**Tablero**



**Objetos almacenados dentro de la S.E**



**Planta de emergencia**





La subestación cuenta con un transformador de MT de 500[kVA], el acceso a la subestación es muy bueno, así mismo, el tamaño de la puerta de acceso a la misma es suficiente como para maniobrar equipos dentro y fuera de la misma. Es utilizada como bodega de objetos inservibles y encuentra muy sucia.

Esta dependencia cuenta con una planta de emergencia ubicada dentro del mismo cuarto.

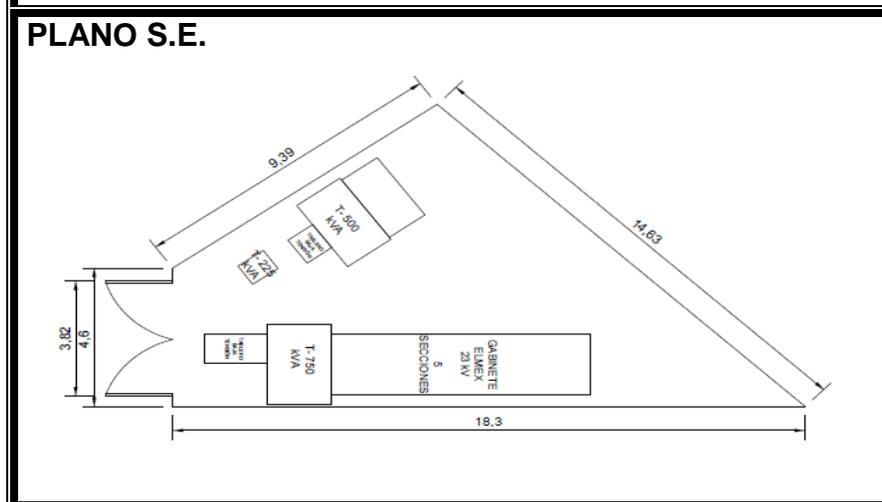
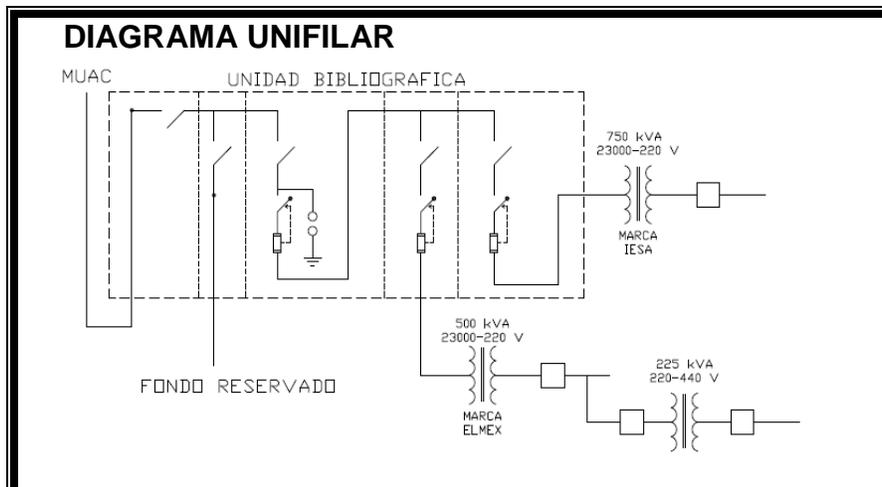
- **UNIDAD BIBLIOGRÁFICA**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	ELMEX
TENSIÓN	23000 V
No. DE SECCIONES	5
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR MT 1</b>	
CAPACIDAD	750 kVA
TENSIÓN	23000 - 220Y / 127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	IESA
TIPO	NRAE
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	8.5%
PESO TOTAL	4073 kg
No. SERIE	690911
<b>TRANSFORMADOR MT 2</b>	
CAPACIDAD	500 kVA
TENSIÓN	23000 - 220Y / 127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	ELMEX
TIPO	NRAE
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	8.5%
PESO TOTAL	3018 kg
No. SERIE	6647-1-1

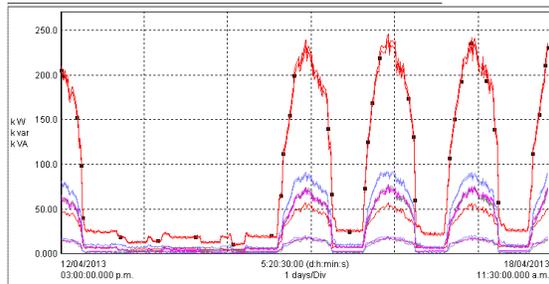


TRANSFORMADOR (SECO)	
CAPACIDAD	225 kVA
TENSIÓN	440 - 220Y / 127
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	SQD
TIPO	SO
CLASE	AA
AISLAMIENTO	SECO
IMPEDANCIA	6.2 %
PESO TOTAL	553 kg
No. SERIE	-----

SISTEMA DE TIERRAS	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	32.5



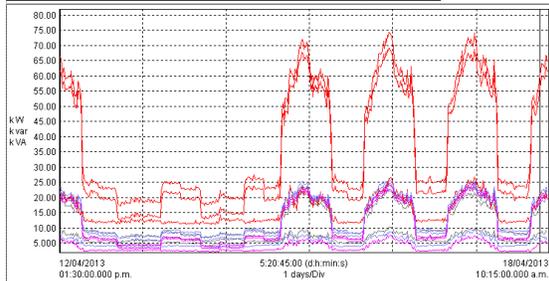
Gráfica demanda TR 750 [kVA]:



Demanda máxima: **245.799 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Units
VA Total	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	86.405	10.779	245.799	k VA
VA1	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	26.314	3.159	77.719	k VA
VA2	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	26.213	1.432	76.644	k VA
VA3	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	33.878	5.611	92.358	k VA
var Total	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	21.105	4.175	57.185	k var
var1	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	6.339	1.628	18.502	k var
var2	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	7.256	0.764	18.630	k var
var3	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	7.510	1.526	20.620	k var
W Total	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	83.644	9.678	239.069	k W
W1	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	25.508	2.623	75.479	k W
W2	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	25.113	1.148	74.356	k W
W3	12/04/2013	03:00:00.000 p.m.	33.023	5.310	90.287	k W

Gráfica demanda TR 500[kVA]:



Demanda máxima: **74.467 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Units
VA Total	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	37.711	17.288	74.467	k VA
VA1	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	12.729	6.464	24.595	k VA
VA2	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	11.416	3.811	24.794	k VA
VA3	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	13.566	6.586	25.868	k VA
var Total	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	15.324	11.118	26.671	k var
var1	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	6.532	4.670	10.267	k var
var2	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	3.622	2.085	7.569	k var
var3	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	5.170	3.432	9.335	k var
W Total	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	33.831	12.461	69.261	k W
W1	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	10.685	3.848	22.277	k W
W2	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	10.714	3.120	23.515	k W
W3	12/04/2013	01:30:00.000 p.m.	12.431	5.189	24.249	k W

## Acervo fotográfico





La subestación cuenta con dos transformadores de MT, uno de 750[kVA] que es el que alimenta al Instituto de Investigaciones Bibliográficas, y otro de 500[kVA] que alimenta al Instituto de Investigaciones Sobre la Universidad y la Educación. Proponemos que se habilite una subestación propia para esta última dependencia, y así tener un mejor suministro de la energía eléctrica.

El acceso a la subestación actual, es fácil, y la puerta es del tamaño necesario para maniobrar equipos dentro y fuera de la subestación.

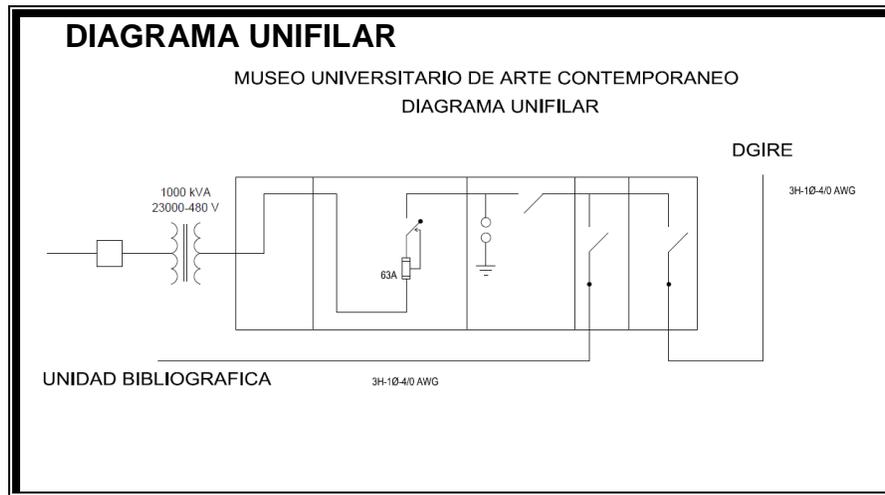
El cuarto de la subestación es utilizada como bodega de objetos inservibles, y se encuentra llena de polvo.

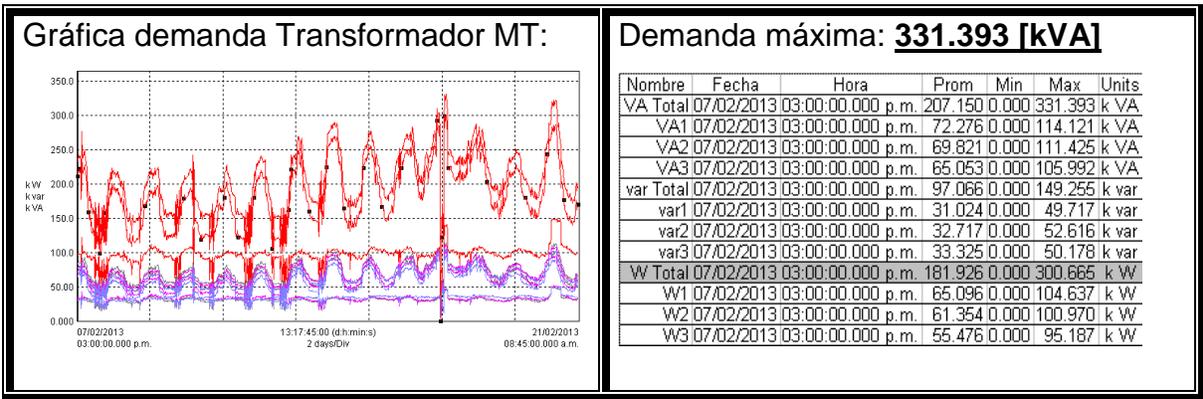
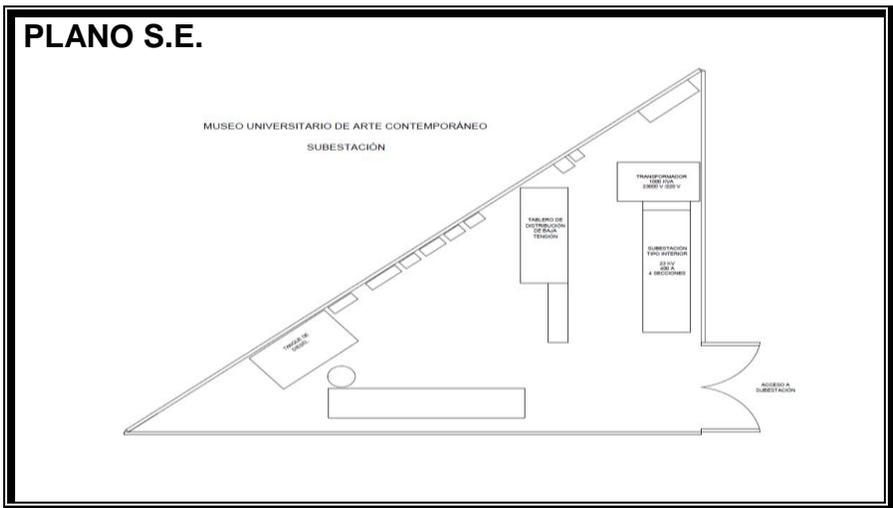


MUSEO UNIVERSITARIO DE ARTE CONTEMPORANEO

SUBESTACIÓN (GABINETE)	
TIPO	INTERIOR
MARCA	AREVA
No. DE SERIE	205565 5-1-111
TENSIÓN	23000 V
CORRIENTE	400 A
No. DE SECCIONES	4
APARTARRAYOS	CLASE 15 kV
TRANSFORMADOR	
CAPACIDAD	1000 kVA
TENSIÓN	23000 – 480/277 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	DIEMSA
TIPO	INTERIOR
CLASE	25000 V
AISLAMIENTO	SECO
IMPEDANCIA	6.62 %
PESO TOTAL	3672 kg
No. SERIE	8705 RIN 07
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.3 , 2.3 , 2.1 m

SISTEMA DE TIERRAS	
CALIBRE	4/0
MEDICIÓN	34 Ω







La subestación cuenta con un transformador en MT de 1000[kVA], actualmente se encuentra en perfecto estado.

El mantenimiento de todos los equipos es adecuado, así como las dimensiones de la puerta de acceso para mover los equipos en caso de ser requerido.

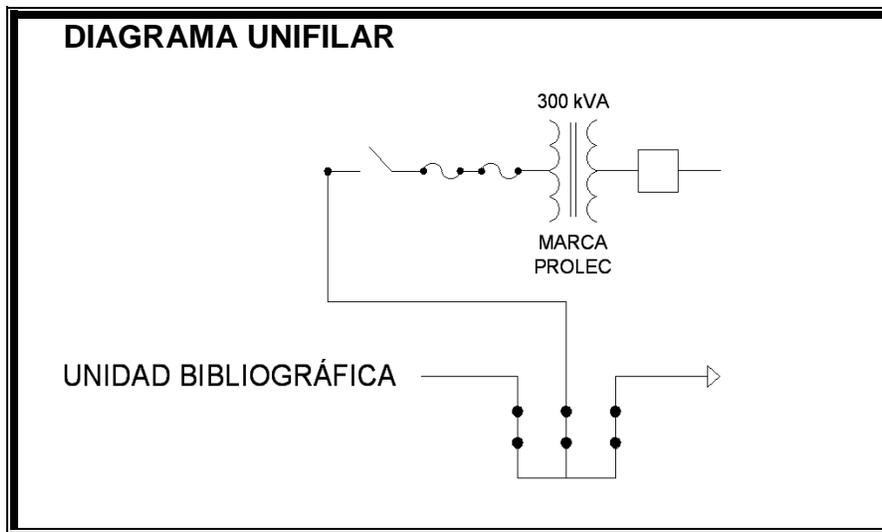
Cuenta con una planta de emergencia dentro de la subestación.

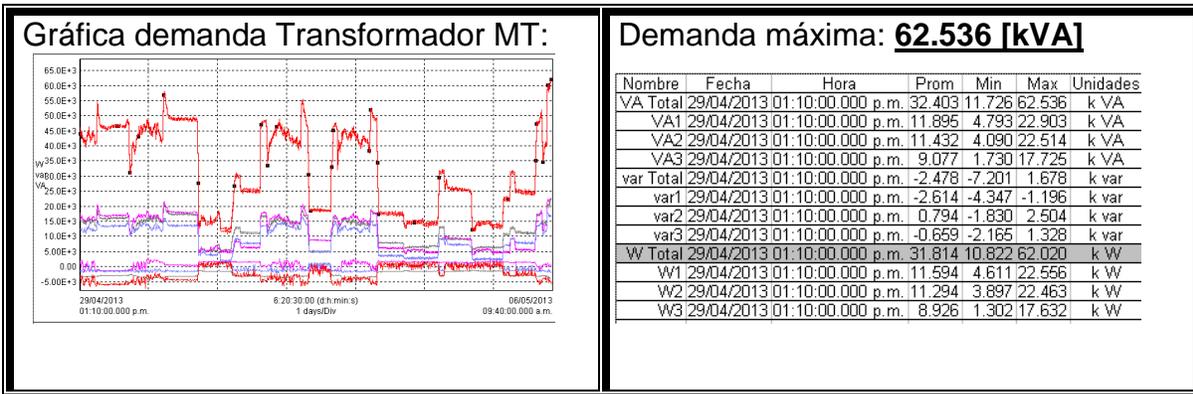
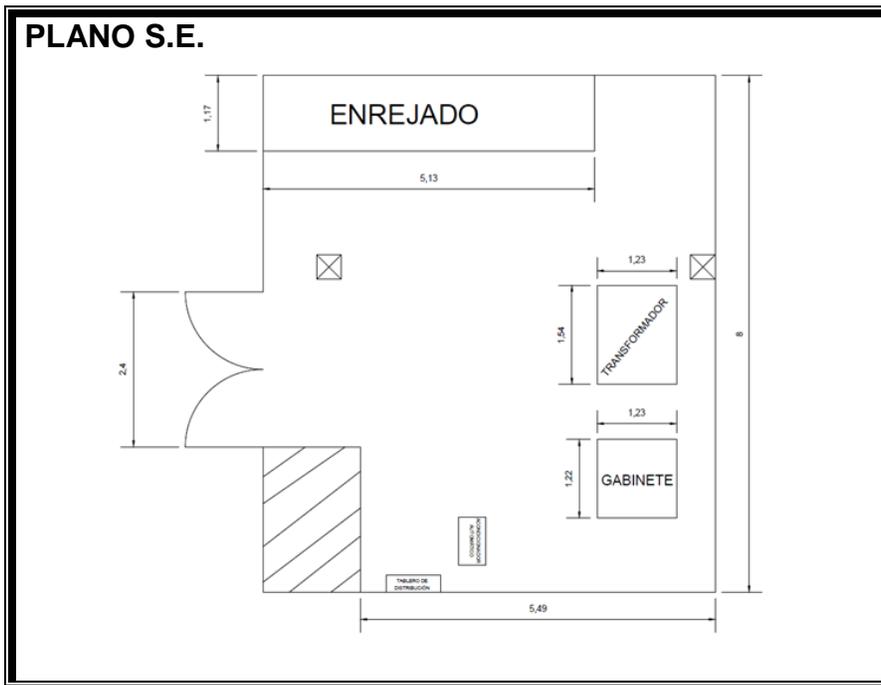


• **POSGRADO DE ECONOMÍA.**

<b>TRANSFORMADOR (TIPO PEDESTAL)</b>	
CAPACIDAD	300 kVA
TENSIÓN	23000 – 220 /127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	PROLEC
TIPO	PEDESTAL
CLASE	25 kV
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	-----
PESO TOTAL	-----
No. SERIE	-----
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.23 / 1..60 / 1.54 m

<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	34.2





**Acervo fotográfico**



Acceso a la S.E.



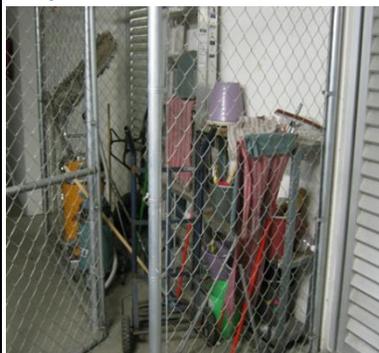
TR. M.T 300 [kVA]



Tablero



Objetos dentro de la S.E.





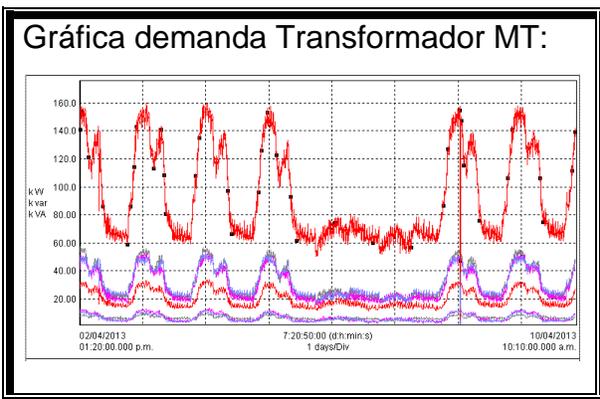
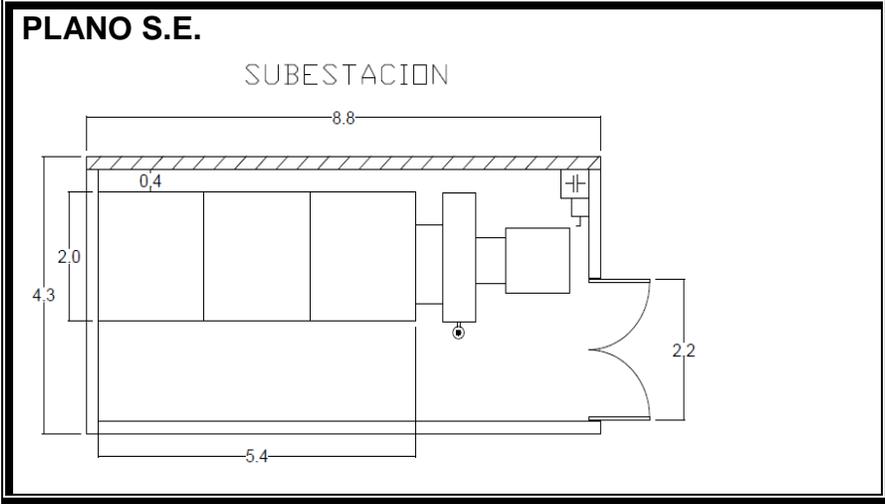
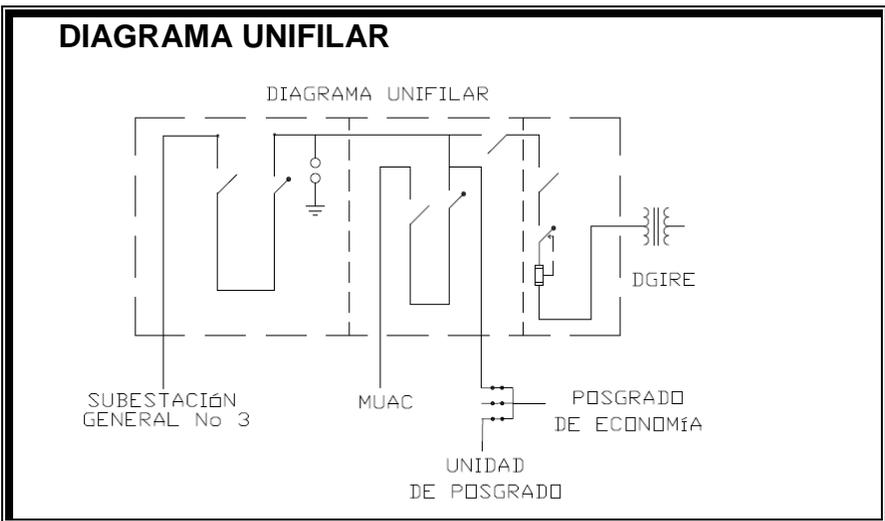
La subestación cuenta con un transformador en MT de 300[kVA] tipo pedestal dentro del cuarto que conforma la subestación, el cual se encuentra en orden y limpio; los bancos de conductores, charolas, tableros y demás equipos, se encuentran en perfecto estado, asegurando de esta manera la seguridad del personal que maniobra dentro de la subestación.

El tamaño de la puerta de acceso es lo suficientemente grande como para maniobrar los equipos dentro y fuera de la misma.

- **DIRECCIÓN GENERAL DE INCORPORACIÓN Y REVALIDACIÓN DE ESTUDIOS (DGIRE)**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	CEESSA
No. DE SERIE	326
TENSIÓN	23000 V
CORRIENTE	600 A
No. DE SECCIONES	3
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR MT</b>	
CAPACIDAD	300 kVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	DEEMSA
TIPO	INTERIOR
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	4.6 %
PESO TOTAL	1939 kg
No. SERIE	0152TH79
MEDIDAS	
ANCHO / ALTO / LARGO	1.53/ 1.52/ 1.80 m

<b>SISTEMA DE TIERRAS</b>	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	0.43 Ω



#### Demanda máxima: **122.808 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Units
VA Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	94.471	28.987	159.825	k VA
VA1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	32.387	10.202	57.332	k VA
VA2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	30.080	9.347	53.052	k VA
VA3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	32.005	9.439	51.994	k VA
var Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	19.881	5.861	33.641	k var
var1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	6.601	1.603	10.057	k var
var2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	6.856	2.214	13.717	k var
var3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	6.424	2.043	12.156	k var
W Total	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	92.264	28.371	156.222	k W
W1	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	31.659	10.075	56.721	k W
W2	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	29.270	9.081	51.462	k W
W3	02/04/2013	01:20:00.000 p.m.	31.335	9.215	50.696	k W



Acervo fotográfico



Puerta de acceso





La subestación cuenta con un transformador en MT de 300 [kVA], la ubicación de esta es muy buena, aunque el tamaño de la puerta de acceso no permitiría maniobrar equipo dentro y fuera de la misma sin problema alguno.

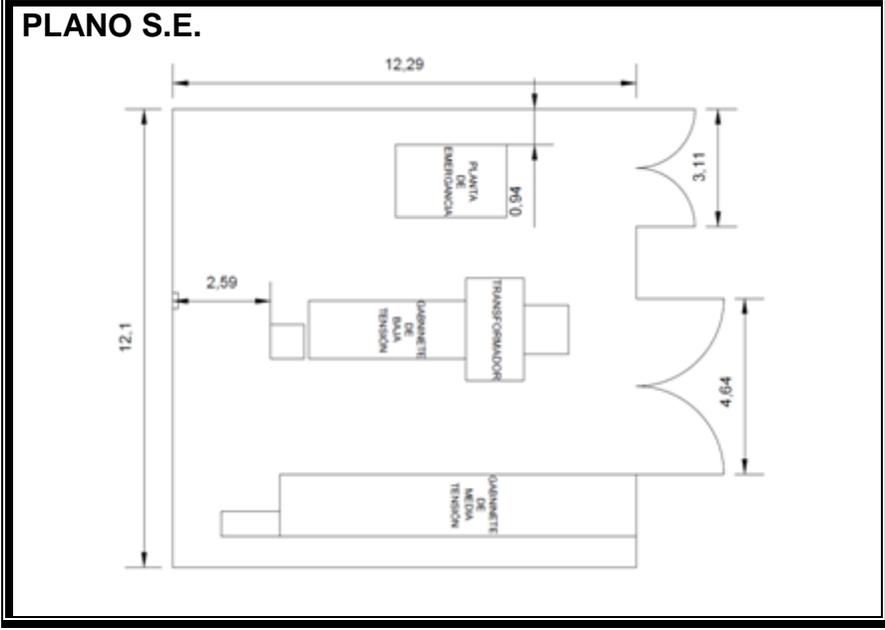
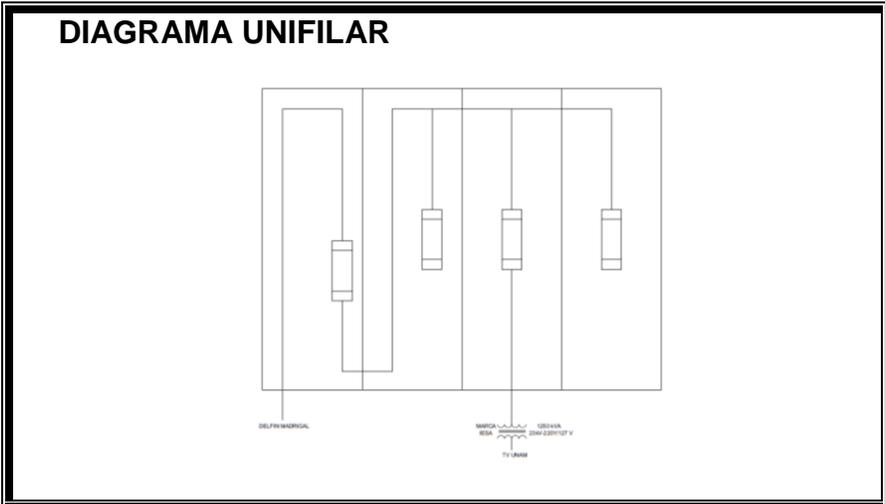
Se utiliza como bodega, además de que se encuentra muy sucia y llena de polvo, y aunque los bancos de conductores y las charolas están en buen estado.

• **TV UNAM**

<b>SUBESTACIÓN (GABINETE)</b>	
TIPO	INTERIOR
MARCA	ELMEX
TENSIÓN	23 kV
No. DE SECCIONES	4
APARTARRAYOS	SI
<b>TRANSFORMADOR</b>	
CAPACIDAD	1250 kVA
TENSIÓN	23 kV – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	IESA
TIPO	OA
CLASE	25 kV
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	5.7%
PESO TOTAL	5268
No. SERIE	10249-1-1
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.53 / 2.13 / 1.19 m
<b>PLANTA DE EMERGENCIA</b>	
CAPACIDAD	394 kVA
TENSIÓN	220/400 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	MAGNA PLUS
AISLAMIENTO	ACEITE
No. SERIE	WA-510278-0697
FACTOR DE POTENCIA	0.8
MEDIDAS ANCHO / ALTO / LARGO	1.92 / 1.89 / 2.94 m

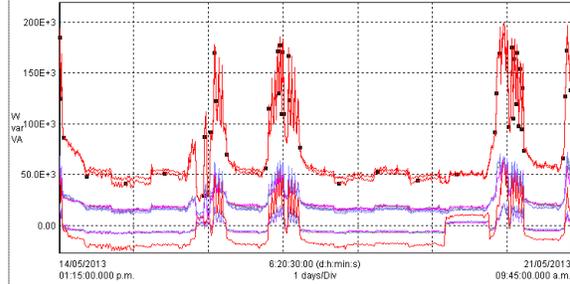


SISTEMA DE TIERRAS	
CALIBRE	2/0
MEDICIÓN	19 Ω





Gráfica demanda Transformador MT:



Demanda máxima: **199.421 [kVA]**

Nombre	Fecha	Hora	Prom	Min	Max	Unidades
VA Total	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	67.992	24.388	199.421	k VA
VA1	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	22.912	7.508	67.449	k VA
VA2	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	23.107	5.919	65.340	k VA
VA3	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	21.973	10.567	71.765	k VA
var Total	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	-7.375	-24.586	61.700	k var
var1	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	-3.031	-8.552	19.213	k var
var2	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	-2.365	-8.187	21.774	k var
var3	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	-1.979	-8.251	21.291	k var
W Total	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	64.966	23.794	193.230	k W
W1	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	21.807	7.337	66.377	k W
W2	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	22.187	5.826	61.604	k W
W3	14/05/2013	01:15:00.000 p.m.	20.973	10.224	70.372	k W

**Acervo fotográfico**



Acometida de CFE.





Esta subestación cuenta con un transformador de 1250[kVA], a diferencia de las dependencias anteriores, esta no se encuentra conectada a la red eléctrica de CCU, ya que presenta una acometida a la red de CFE.

El cuarto de la subestación es muy amplio, y los equipos se encuentran en perfecto estado, sin embargo, el cuarto de la subestación es utilizado también como bodega, y como lugar de esparcimiento.

Aunque la puerta de acceso a la subestación es muy grande, el pasillo que lleve a esta es muy estrecho, por lo que el maniobrar equipo dentro o fuera de la misma será muy complicado.



### CAPÍTULO 3. SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

Los componentes principales de un sistema eléctrico de potencia son a su vez, otros sistemas, tales como los sistemas de generación, transmisión y distribución. Esto se debe a que un sistema eléctrico de potencia se puede ver como un conjunto de sistemas, el cual tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica. Siempre se busca que lo anterior se realice con menor costo posible, la mayor confiabilidad, calidad y las menores pérdidas posibles.

La figura 3.1 muestra un típico sistema eléctrico de potencia.

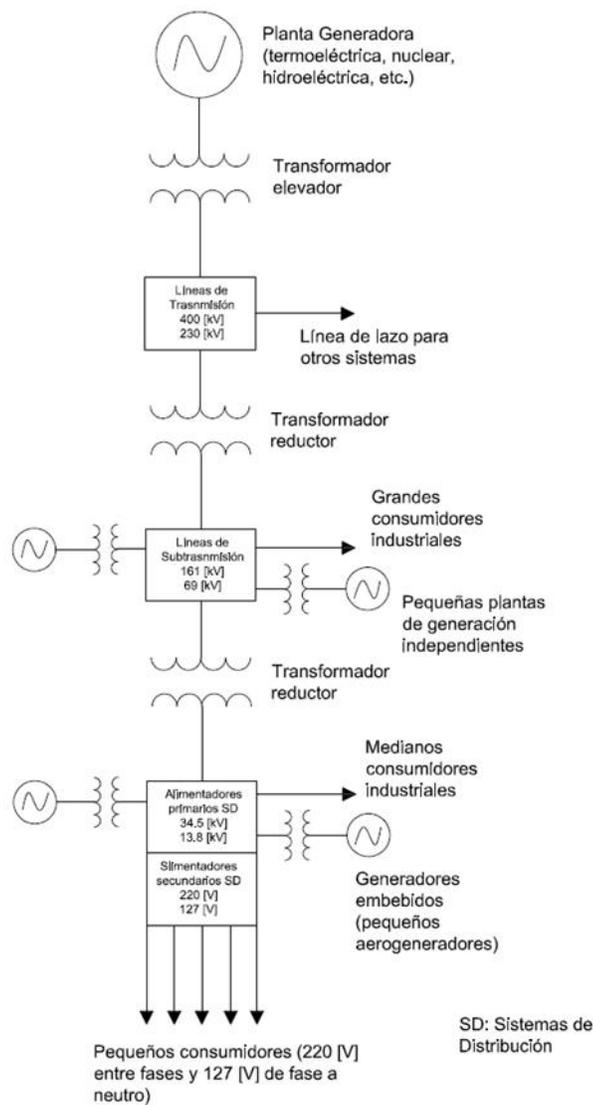


Fig. 3.1 Muestra un Sistema Eléctrico de Potencia



### **3.1 Sistemas de Distribución.**

Un sistema de distribución eléctrico se puede definir como un conjunto de elementos eléctricos interconectados, el cual tiene como fin transportar y distribuir la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución hasta los usuarios (residencias, comercios, industrias, etc.).

Un sistema de distribución comprende los alimentadores primarios que tienen como punto de partida las subestaciones de distribución, los transformadores de distribución que reducen la tensión al valor de utilización por los clientes y los circuitos secundarios, hasta la entrada de la instalación del consumidor.

Los sistemas de distribución se pueden clasificar según su construcción en:

- Sistemas de distribución aéreos.
- Sistemas de distribución subterráneos.
- Sistemas de distribución mixtos.

### **3.2 Sistemas de distribución subterráneos.**

Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los sistemas de distribución aéreos, pero cuando se produce una falla es más difícil localizarla y su reparación lleva más tiempo. En este tipo de sistema de distribución se instalan seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios, además de que para en caso de una falla o de desconexión de un transformador, se puedan conectar sus circuitos secundarios a un transformador contiguo.

#### **3.2.1 Estructuras de redes subterráneas.**

La selección de este parámetro juega un papel muy importante en la planeación del tipo de distribución ya que no influye solo en la operación sino también en el costo y confiabilidad durante la vida útil de la red.

Algunos de los parámetros a considerar para la selección de la estructura son:

- Densidad de la carga.
- Tipo de carga: Residencial, comercial, industrial o mixta.
- Localización geográfica.
- Área o forma geométrica de la expansión de la carga.
- Costo.
- Confiabilidad requerida por los consumidores.



- Operación.
- Tasa de crecimiento.
- Mano de obra disponible tanto para la construcción como para la operación de la red.

Las estructuras en Media Tensión son:

- Radial.
- Anillo.
  - o Anillo Abierto.
  - o Anillo Cerrado.
- Doble alimentación.
- Alimentadores selectivos.

Actualmente la estructura utilizada en el Centro Cultural Universitario para alimentar de energía eléctrica a las diferentes dependencias que lo conforman es del tipo Radial, por lo cual se describe brevemente a continuación.

### 3.2.2 Estructura Radial

Esta estructura se constituye con cables troncales que salen en forma radial de la subestación eléctrica y con cables transversales que ligan estas troncales, es decir, las cargas tienen una sola alineación de tal manera que si la fuente de alimentación sufre una avería se produce una interrupción del suministro. En la Fig. 3.1.1 se muestra un diagrama de este tipo de estructura.

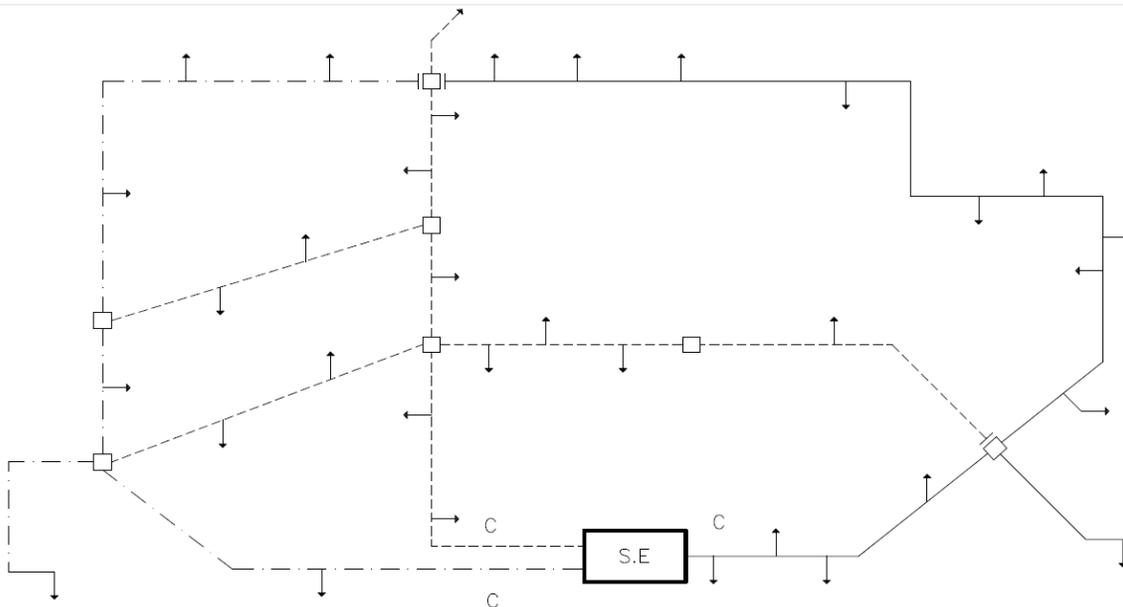


Fig. 3.1.1 Estructura Radial



Por otra parte tenemos la estructura Anillo Abierto, la cual es la que se propone a implementar la Subestación general 7, dicha estructura se explica a continuación.

### 3.2.3 Estructura Anillo Abierto

Es aquel que cuenta con más de una trayectoria entre la fuente o fuentes y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica.

Este sistema comienza en la estación central o subestación y hace un “ciclo” completo por el área a abastecer y regresa al punto de donde partió. Lo cual provoca que el área sea abastecida de ambos extremos, permitiendo aislar ciertas secciones en caso de alguna falla.

La única diferencia que tiene la estructura Anillo Abierto de la estructura Anillo es que en la estructura Anillo Abierto se cuenta con seccionador que se encuentra normalmente abierto, dicho seccionador generalmente se encuentra en el punto medio de las cargas a alimentar, es decir que de ambos lados del seccionador hay casi la misma capacidad instalada. En la Fig. 3.1.2 se muestra un diagrama de la estructura Anillo Abierto con doble alimentación.

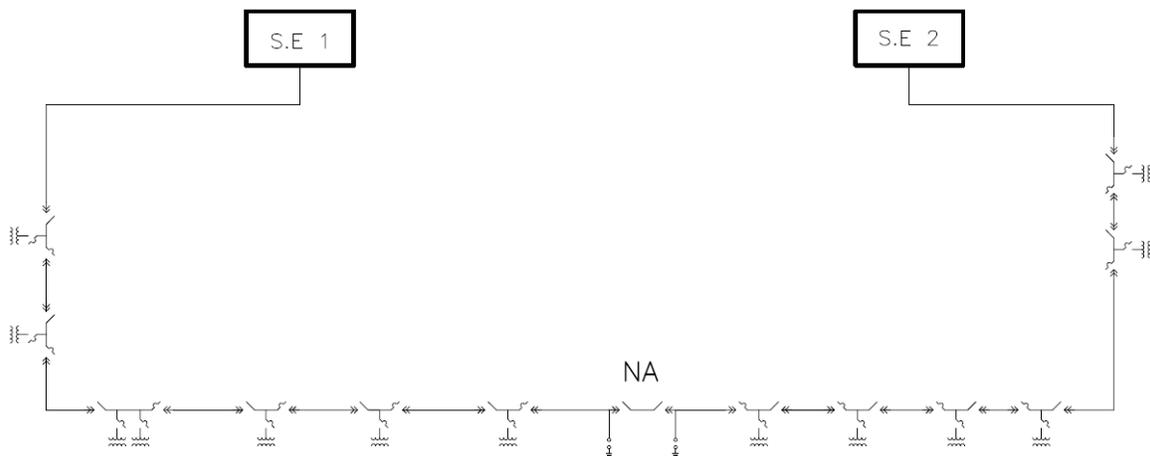


Fig. 3.1.2 Estructura Anillo Abierto con doble alimentación

### 3.3 Subestaciones Eléctricas

Una subestación eléctrica se puede definir como un conjunto de elementos eléctricos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; el cual tiene como



funciones principales: transformar o establecer los niveles de tensión eléctrica y derivar circuitos de potencia.

Existen 4 tipos importantes de Subestación Eléctrica. El primer tipo es la subestación o patio de maniobras de una planta de generación eléctrica. Las cuales facilitan conectar a la planta generadora con la red (por medio de líneas de transmisión).

La segunda es conocida como subestación tipo cliente y funciona como la fuente principal de energía del consumidor. La construcción y requerimientos de este tipo de subestación dependen altamente del giro u ocupación del cliente.

El tercer tipo de subestación involucra la transferencia de potencia a granel a través de la red y es conocida como estación de sistema. Algunas de estas subestaciones sólo proporcionan las instalaciones (Sin transformadores de potencia) de conmutación, mientras que otros realizan la conversión de tensión también.

El cuarto tipo son las subestaciones de distribución. Estas son el tipo de instalación más común en los sistemas eléctricos de potencia, las cuales proporcionan los circuitos de distribución que abastecen directamente la mayoría de clientes de electricidad.

### **3.3.1 Diagrama unifilar.**

Es un dibujo que mediante símbolos y una sola línea da representa y da información sobre una instalación eléctrica, tal como las conexiones, tipo de sistema (monofásico, trifásico, etc.) así como los elementos que la conforman con su respectiva información, como lo es su reactancia, potencia nominal, tipo de conexión, etc.

### **3.3.2 Tipos de arreglo de las barras en una subestación eléctrica.**

El paso inicial en el diseño de una subestación es saber qué tipo de diagrama de conexiones u arreglo se va a utilizar, ya que este, tiene como finalidad representar mediante símbolos, y en una sola línea las conexiones, las características principales y la nomenclatura del equipo que forma parte de ella.

Cuando lo que se pretende es realizar una ampliación en una subestación existente, generalmente se respeta el arreglo original, pero en el caso de que se



trate de nuevas subestaciones para el tipo de subestación el tipo de arreglo se consideran los siguientes factores principalmente:

- Continuidad del servicio.
- Flexibilidad de operación.
- Facilidad de mantenimiento al equipo.
- Habilidad para limitar los niveles de corto circuito.
- Simplicidad en los esquemas de control y protección.
- Economía de equipo y su instalación.
- Área disponible para su construcción.
- Posibilidad de ampliación.

Uno de los factores más importantes que deben tomarse en cuenta para la realización de la ingeniería de cualquier tipo de subestación, es determinar qué tipo de arreglo se va a utilizar, debido a dependiendo el arreglo seleccionado dependerán los demás factores que deben tomarse en cuenta para realizar el proyecto.

A causa de que el diagrama de conexión elegido es el que determina el costo de la subestación, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Niveles de aislamiento y sobretensiones, tomando en cuenta las sobretensiones causadas por la pérdida repentina de la carga, ferorrsonancia, o fallas por corto circuito a tierra, las sobretensiones de maniobra o por descargas atmosféricas.
- Intensidad de corriente máxima y sobrecorrientes, considerando el efecto térmico y mecánico de los elementos conductores, en las condiciones de operación más desfavorables, así como las corrientes de corto circuito esperadas y determinadas por un análisis completo de la red.
- Las condiciones de seguridad para el personal de operación y mantenimiento.

Algunos de los arreglos típicamente utilizados en las subestaciones son los siguientes:

- Barra sencilla.
- Doble barra con interruptor comodín.
- Doble barra con interruptor de amarre.
- Triple barra con interruptor de amarre.
- Triple barra con interruptor comodín.



- Anillo abierto.
- Interruptor y medio.

**Barra sencilla.**

Este es el arreglo más simple y económico ya que todas las conexiones están directamente a una sola barra. Al tener sólo un juego de barras principales la confiabilidad en este tipo de arreglo es baja, aún con las protecciones adecuadas, ya que con una falla en las barras o entre las barras y el interruptor de algún circuito derivado deja fuera toda la subestación.

Asimismo se dificulta el mantenimiento de los interruptores ya que es necesario que para darle mantenimiento a un interruptor, se ponga fuera de servicio su elemento asociado. Para la ampliación de la subestación se requiere ponerla fuera de servicio. Se usa en pequeñas subestaciones o plantas donde la simplicidad y economía son importantes. En la figura 3.2 se muestra el diagrama de esta conexión.

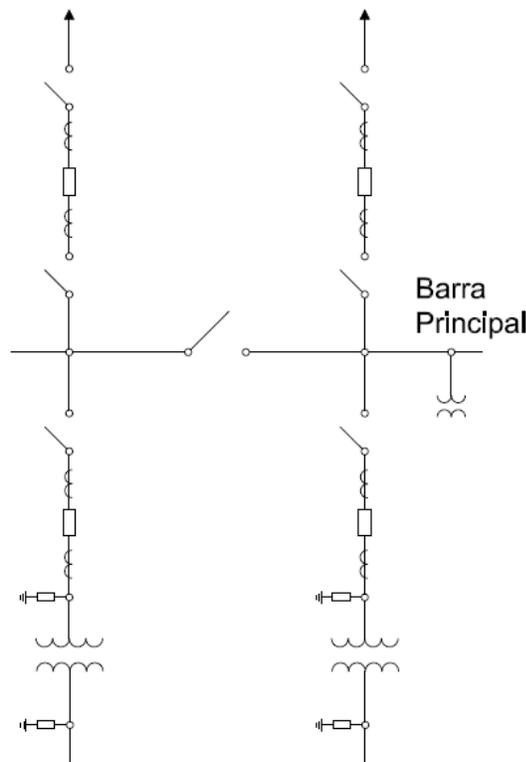


Fig. 3.2 Configuración barra Sencilla

***Doble barra con interruptor comodín.***

Este tipo de arreglo también conocido como arreglo con barra principal y barra auxiliares o de transferencia, mientras trabaja en condiciones normales todos los elementos se encuentran conectados al juego de barras principales. Este arreglo permite dar mantenimiento a cualquier interruptor por medio del propio interruptor comodín y barras auxiliares (transferencia), sin necesidad de que quede fuera de servicio la línea de transmisión o banco de potencia asociado.

Cuando un interruptor se encuentre en mantenimiento se puede proteger a su elemento asociado, transfiriendo su protección al interruptor comodín. También se puede realizar la transferencia de todos los elementos de la subestación a las barras auxiliares, utilizando al interruptor comodín como amarre, para dar mantenimiento a las barras principales. Pero se requiere que las barras auxiliares cuenten también con protección diferencial de barras propia.

Al operar la protección diferencial de barras para librar una falla, envía un disparo a todos los interruptores desconectando todas las líneas y bancos de potencia, quedando totalmente fuera la subestación. Por lo que se pierde la continuidad de servicio y se puede tener repercusiones que puedan causar un colapso del sistema.

Los diagramas de conexiones con interruptor comodín y barra de transferencia proporcionan mayor facilidad en el mantenimiento de los interruptores, pero con estos arreglos se complica la instalación, las maniobras de operación y el esquema de protección y control.

Debe disponerse de un sistema de bloqueos con el interruptor comodín para la operación de sus cuchillas desconectoras. En comparación con el arreglo de barra sencilla la cantidad de equipo necesario es mayor por lo que también su costo.

En la figura 3.3 se muestra el diagrama de esta conexión.

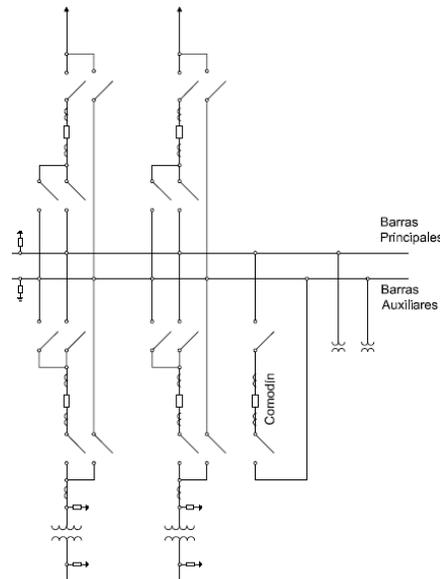


Fig. 3.3 Configuración Doble Barra con interruptor comodín

### ***Doble barra con interruptor de amarre.***

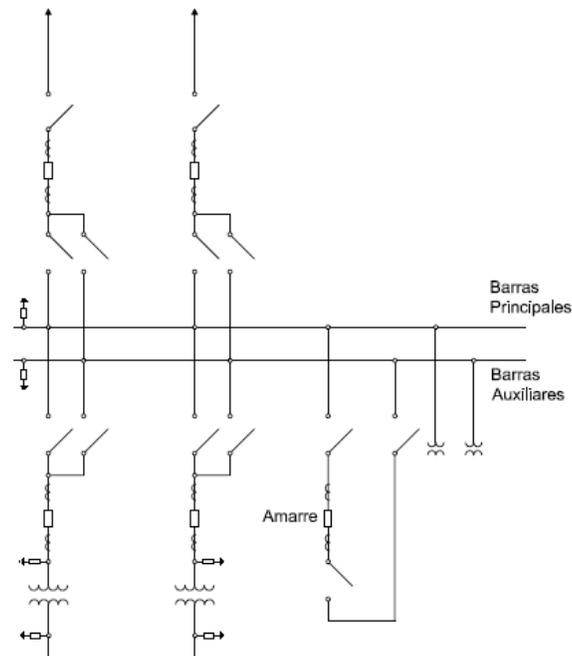
Mientras este arreglo se encuentra operando bajo condiciones normales, la mitad de las líneas de transmisión y la mitad de los bancos de transformación se conectan a uno de los juegos de barras colectoras y la otra mitad de los elementos de la subestación se conectan al otro juego de barras.

El interruptor de amarre en condiciones normales de operación permanece cerrado para mantener el mismo potencial en ambas barras colectoras y además para poder realizar la transferencia de los elementos conectados de una barra a la otra, cuando se requiera realizar mantenimiento a una de ellas, sin necesidad de que ninguno de los elementos de la subestación quede fuera de servicio. La operación de transferencia de los elementos se realiza cerrando primero la cuchilla abierta y después se abre la cuchilla que estaba cerrada inicialmente sin necesidad de abrir el interruptor propio del elemento, por lo que no se afecta la continuidad del servicio. Durante esta maniobra no existe el problema de arcos peligrosos durante la operación de las cuchillas, debido a que la corriente de carga circula por la cuchilla que permanece cerrada.

Cada juego de barras colectoras cuenta con protección diferencial propia, de manera que en caso de presentarse una falla en cualquiera de las barras queda

fuera la mitad de la subestación, mientras se realizan las maniobras necesarias para la transferencia, a las barras en buenas condiciones, de los elementos que estaban conectados a las barras afectadas.

Para el mantenimiento de cualquiera de los interruptores es necesario sacar fuera de servicio la línea de transmisión o banco de potencia asociado, afectando la continuidad del servicio. En la figura 3.4 se muestra el diagrama de esta conexión.



**Fig. 3.4 Configuración Doble Barra con interruptor de amarre**

### ***Triple barra con interruptor de amarre.***

Este tipo de arreglo se utiliza cuando son varias líneas de transmisión las que convergen en la subestación y además se cuenta con varios bancos de potencia, por lo que se requiere que cada tercera parte de la subestación se conecte a un juego de barras colectoras para que al operar la protección diferencial de barras tener la salida de un menor número de elementos, en comparación con el arreglo de doble barra.

Desde el punto de vista de continuidad de servicio y facilidad de mantenimiento es similar al arreglo de doble barra con interruptor de amarre; a su vez cada juego de barras colectoras cuenta con su propia protección diferencial de manera que en



caso de una falla en una de las barras solo queda la tercera parte de la subestación fuera.

La flexibilidad de operación en este tipo de configuración es menor con respecto al arreglo de doble barra por la mayor cantidad de equipo asociado. Además de que con este tipo de arreglo se complica la instalación y el esquema de control y protección. La cantidad de interruptores es igual que el caso anterior, pero con respecto al número de cuchillas, la cantidad se incrementa. En la figura 3.5 se muestra el diagrama de esta conexión.

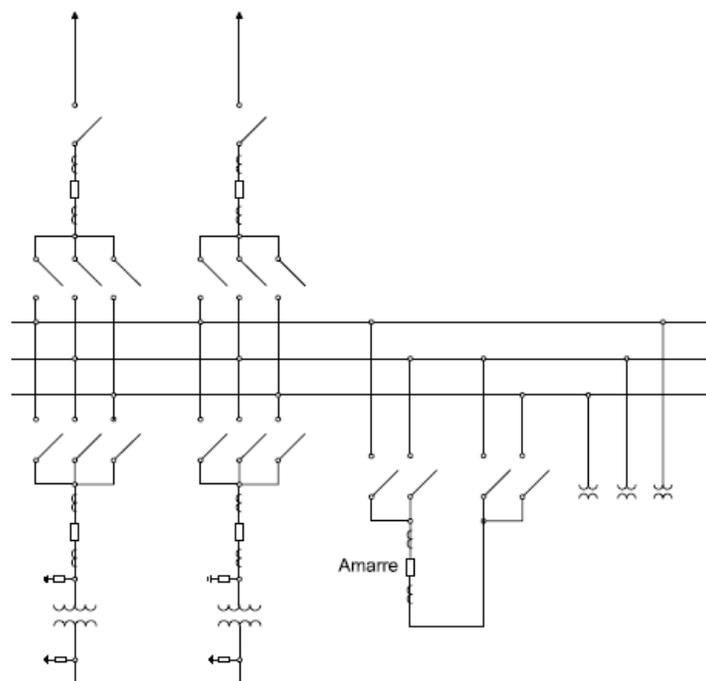


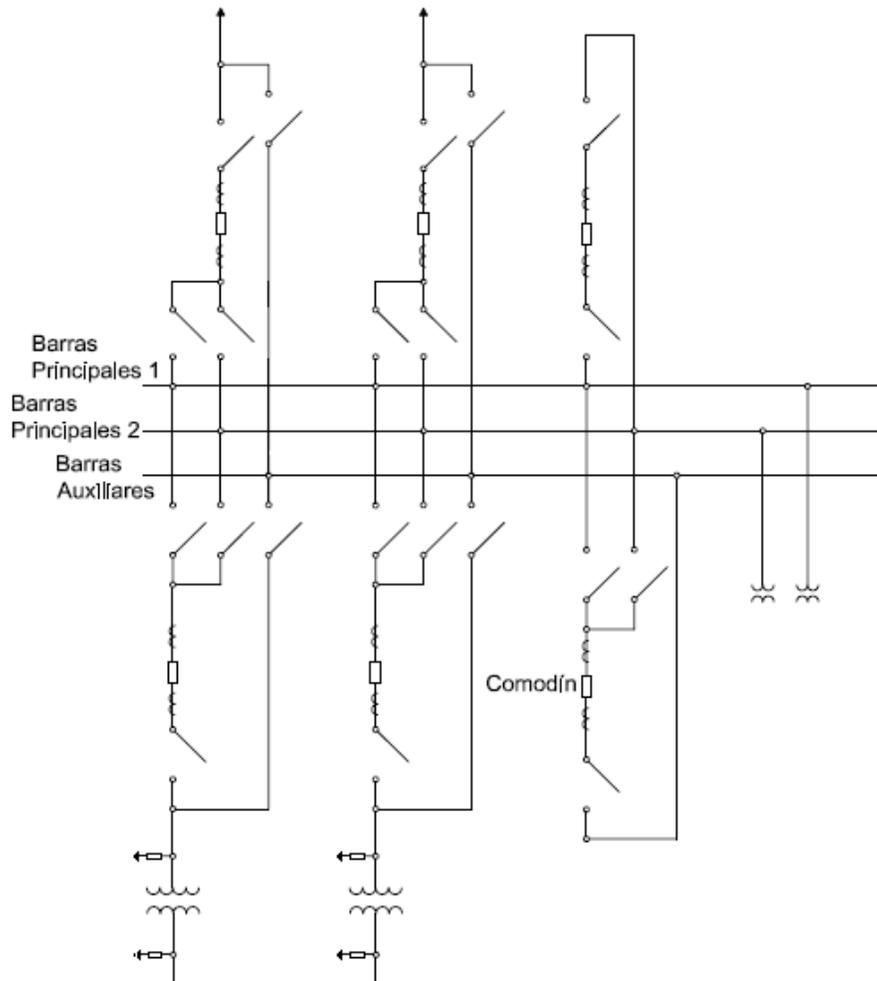
Fig. 3.5 Configuración Triple Barra con interruptor de amarre

***Triple barra con interruptor comodín.***

En este diagrama de conexiones los dos juegos de barras principales junto con el interruptor de amarre presentan las mismas características que el arreglo de doble barra con interruptor de amarre.

Este arreglo a diferencia del arreglo de doble barra con interruptor de amarre, proporciona facilidad de mantenimiento a los interruptores por medio de las barras de transferencia y el uso del interruptor comodín, sin tener que desconectar al elemento asociado. En la figura 3.6 se muestra el diagrama de esta conexión.

Con este diagrama de conexiones se complica la instalación, las maniobras de Operación y el esquema de protección y control.



**Fig. 3.6 Configuración Triple Barra con interruptor comodín**

### **Anillo.**

Como el nombre lo indica, todos los interruptores están organizados en un anillo con circuitos conectados entre dos interruptores. Bajo condiciones normales de operación todos los interruptores están normalmente cerrados. Este tipo de diagrama se representa en la Fig. 3.7

La flexibilidad en este arreglo aumenta, ya que permite la desconexión de un interruptor para su mantenimiento sin necesidad de que alguna línea quede fuera de servicio, por lo que el suministro de energía eléctrica no se ve afectado.



En comparación con el arreglo de barra sencilla, este proporciona mayor continuidad de servicio (utilizando la misma cantidad de equipo eléctrico).

Esta configuración permite con mayor facilidad, utilizar la capacidad de reserva de la subestación, tanto de transmisión como de transformación, para mantener la seguridad del sistema con la salida de uno de los elementos.

A su vez, este arreglo no necesita de una protección diferencial de barras debido a que todas las partes de la subestación, con la misma tensión, quedan resguardadas por las protecciones debidamente traslapadas de las líneas y transformadores.

Para poder proporcionar una buena continuidad de servicio deben estar conectados en forma alternada las líneas con los transformadores, por lo que su construcción se complica por la entrada de las líneas de transmisión y la conexión de los transformadores, teniendo que poner estructuras adicionales.

Cuando no se conectan en forma alternada las líneas con los bancos, la desconexión simultánea de dos interruptores puede dejar fuera de servicio a toda la subestación.

El número máximo de elementos es de dos líneas y dos transformadores debido a que se complica su ampliación por el arreglo físico de la subestación.

Los esquemas de protección resultan más complicados debido a que las zonas deben quedar debidamente traslapadas y además deben ser adecuadamente seleccionados los interruptores que serán disparados por cada protección.

Los interruptores, cuchillas y transformadores de instrumento deben ser capaces de conducir la máxima corriente total de carga que podría circular a través de ellos, debido a cualquier maniobra de operación o contingencia.

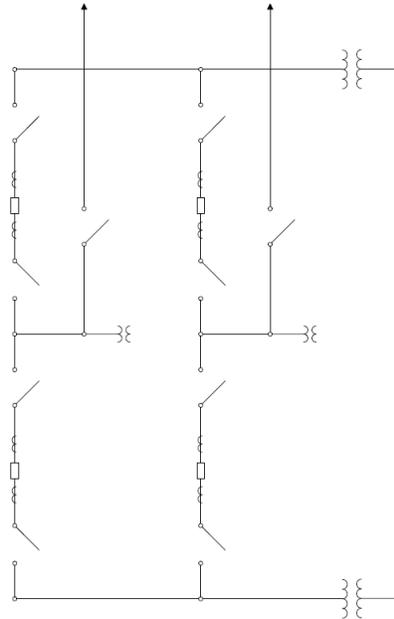


Fig. 3.7 Configuración Anillo

### ***Interruptor y medio.***

El arreglo de interruptor y medio es configurado con un circuito entre dos interruptores en alineación a un tercer interruptor esto entre dos juegos de barras, quedando así un interruptor y medio por circuito.

En las Figs. 3.8 a y 3.8 b, se indica este arreglo en sus dos variantes

En condiciones normales de operación todos los interruptores del arreglo están cerrados. Cada juego de barras colectoras cuenta con su propia protección diferencial de manera que en caso de presentarse una falla en cualquiera de las barras colectoras su respectiva protección envía disparos a todos los interruptores asociados a las barras, sin quedar desconectada ninguna línea de transmisión o transformador de potencia de la subestación.

Permite proporcionar mantenimiento a cualquier interruptor sin necesidad de que quede fuera de servicio la línea o transformador asociado.

Da facilidad para el mantenimiento de las barras colectoras sin dejar fuera de servicio a las líneas de transmisión y bancos de potencia conectados a ellas.

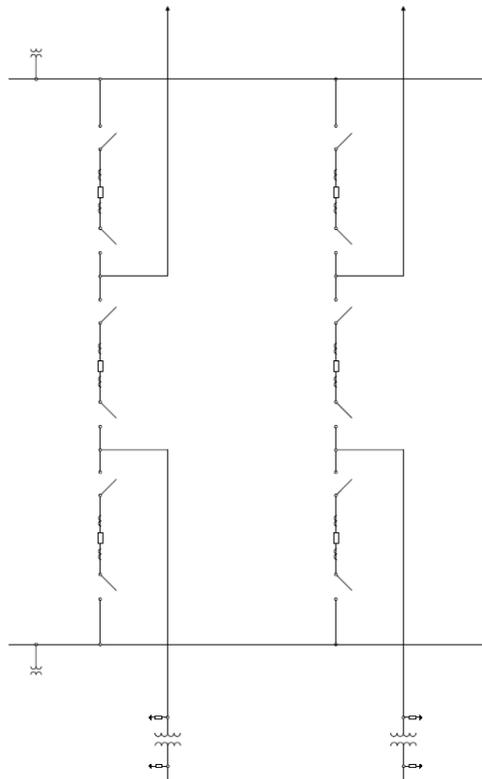


Proporciona facilidad en la ampliación sin tener que dejar fuera de servicio a la subestación o parte de ella.

Los esquemas de protección de las líneas de transmisión y transformadores de potencia resultan más complicados debido a que las zonas de protección deben quedar debidamente traslapadas y además deben mandar disparar tanto al propio interruptor del elemento fallado como al de enlace.

Los interruptores, cuchillas y transformadores de instrumento deben ser capaces de conducir la máxima corriente total de carga, que podría circular a través de ellos debido a cualquier maniobra de operación o contingencia.

Requiere de más equipo que el arreglo con doble barra.



**Fig. 3.8 a Configuración Interruptor y medio**

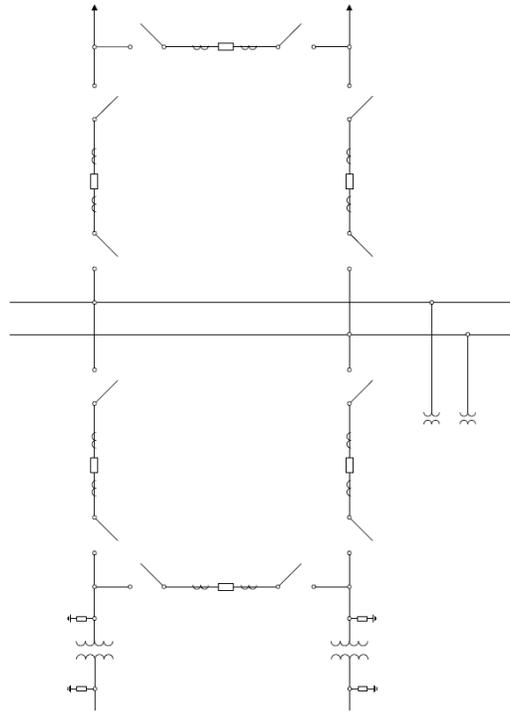


Fig. 3.8 b Configuración Interruptor y medio



## **CAPÍTULO 4. ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN**

### **4.1 Cables de energía**

Es necesario establecer las características y pruebas que deben cumplir los cables de 25kV a utilizar en la red subterránea del sistema de distribución dentro de la Zona Cultural de Ciudad Universitaria.

Tomando en cuenta las siguientes características del sistema:

Tensión nominal entre fases	23 kV eficaz
Frecuencia	60 Hz
Tipo de Sistema	"C"
Tensión de aguante al impulso por rayo	150 kV cresta
Altitud de operación	2300 m.s.n.m
Temperatura ambiente	-10° C a + 40° C
Humedad relativa	90%
Medio ambiente	Altamente contaminante

Tomando en cuenta las características anteriores, se sugiere:

Un cable de energía monopolar con tensión nominal entre fases de 25kV con aislamiento XLP-RA 133% N.A, de cobre compacto sellado contra humedad con hilos o cintas hidrófilas, compatibles con el conductor y con la pantalla semiconductora, pantalla de alambres de cobre con cintas bloqueadoras contra la humedad y con cubierta de polietileno de alta densidad. Además de cumplir con las normas NMX-J-142/1-ANCE-2009 y/o NRF-204-CFE-2003.

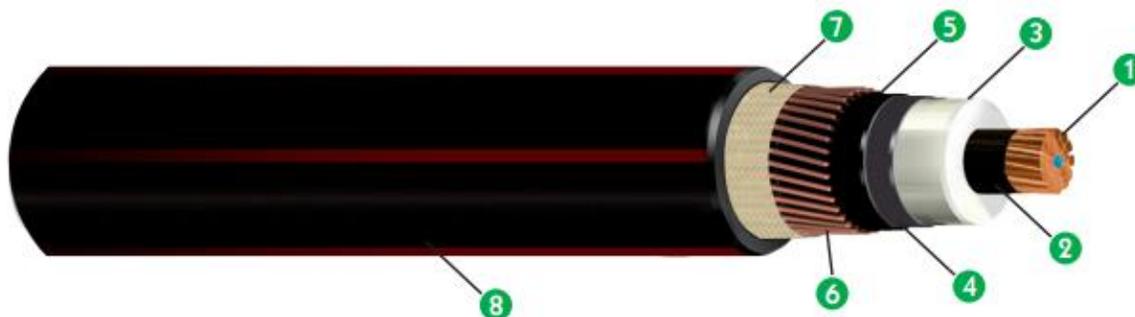
**Características constructivas:**

Fig. 4.1 Esquema de cable 25kV

1. **Conductor:**  
Conductor clase B de cobre suave compacto, con hilos bloqueadores para evitar la penetración longitudinal de agua.
2. **Pantalla semiconductora sobre el conductor:**  
Compuesto semiconductor extruido termofijo.
3. **Aislamiento:**  
Polietileno de cadena cruzada retardante a las arborescencias (XLP-RA), extruido en un proceso de triple extrusión. Nivel de aislamiento 133 %.
4. **Pantalla semiconductora sobre el aislamiento:**  
Compuesto semiconductor extruido termofijo, con adecuada adhesión al aislamiento, lo cual facilita retirar la pantalla.
5. **Cinta W/B semiconductora:** Aplicada helicoidalmente bajo la pantalla electrostática, evitando la penetración transversal de agua.
6. **Pantalla metálica:** Alambres de cobre desnudo suave aplicados helicoidalmente. La sección total asignada para cada calibre cumple con lo indicado en la norma NMX-J-142/1.
7. **Cinta W/B no conductora:** Aplicada helicoidalmente sobre la pantalla electrostática, evitando la penetración transversal de agua.
8. **Cubierta exterior:** Cubierta de polietileno de alta densidad, con excelentes propiedades mecánicas y químicas.



## 4.2 Transformadores de potencia.

Un transformador, es una máquina estática electromagnética cuya función principal es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas; está formado principalmente por tres partes:

- Parte activa.
- Parte pasiva.
- Accesorios.

### **Parte activa:**

Está formada por elementos que se encuentran separados del tanque principal y donde se localizan los siguientes elementos:

#### **- Núcleo.**

Conforma el circuito magnético, fabricado con láminas de acero al silicio y tienen espesores de 0.28 [mm]. Se busca la estructura más adecuada con respecto a las necesidades y capacidades del diseño. El núcleo se puede encontrar unido a la tapa y levantarse con ella, o bien, puede ir unido a la pared del tanque para que haya mayor resistencia cuando se hagan maniobras mecánicas de transporte.

#### **- Bobinas.**

Forman el circuito eléctrico y están elaboradas con alambre o solera de cobre o aluminio. Éstos conductores se encuentran forrados de material aislante que puede variar en características de acuerdo a la tensión con la que se quiera operar la bobina, la temperatura y el medio en cual se va a sumergir. Los devanados deben tener conductos de enfriamiento radial y axial, los cuales permitan el libre flujo de aceite y eliminar también el calor que se genera en su interior. También deben contar con apoyos y sujeciones que les permitan soportar esfuerzos mecánicos que puedan ocurrir por propio peso, pero sobre todo a esfuerzos electromagnéticos que son producidos durante los cortocircuitos.

Las bobinas, dependiendo de la capacidad y tensión que maneje el transformador, pueden ser de diferentes formas: rectangulares para potencias bajas, de tipo cilindro para potencias medianas y de tipo galleta para potencias altas.

#### **- Cambiador de derivaciones.**

Forma el mecanismo enfocado a regular la tensión de la energía que fluye de un transformador. Puede operar de manera manual o automática, se puede instalar del lado de alta o de baja tensión dependiendo de la capacidad y tensión del



aparato. Es recomendable instalarlos en alta tensión porque su costo disminuye a base de que la intensidad de corriente sea menor.

**- Bastidor.**

Lo constituye un conjunto de elementos estructurales que rodean el núcleo y las bobinas. Su función es soportar los esfuerzos mecánicos y electromagnéticos ocurridos en la operación del transformador.

**Parte pasiva:**

Es un tanque en donde está ubicada la parte activa y se emplea en transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos. El tanque debe tener las siguientes características: hermeticidad, soportar el vacío sin que se presente deformación permanente, proteger mecánica y eléctricamente al transformador, ofrecer puntos de apoyo para su transporte y carga, capacidad para soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y accesorios especiales.

La base del tanque debe estar reforzada lo suficiente como para soportar las maniobras de levantamiento durante la carga o descarga del mismo. El tanque y los radiadores de un transformador deben contar con área suficiente para disipar las pérdidas de energía que hay en el interior del transformador, sin que la temperatura rebase los 55 [°C], esto es, dependiendo de la clase térmica de aislamiento especificado. Conforme la potencia de diseño de un transformador va en aumento, el tanque y los radiadores no logran disipar el calor generado, por lo que es necesario adicionar enfriadores en diseños de alta potencia, por los cuales se hace pasar aceite forzado por bombas, y se sopla aire sobre los enfriadores mediante ventiladores. Este tipo de eliminación térmica es conocido como enfriamiento forzado.

**Accesorios:**

Los accesorios de un transformador son el conjunto de dispositivos que apoyan la operación y así facilitan las labores de mantenimiento.

Algunos de estos elementos los podemos apreciar en la imagen 4.1, donde los principales son:

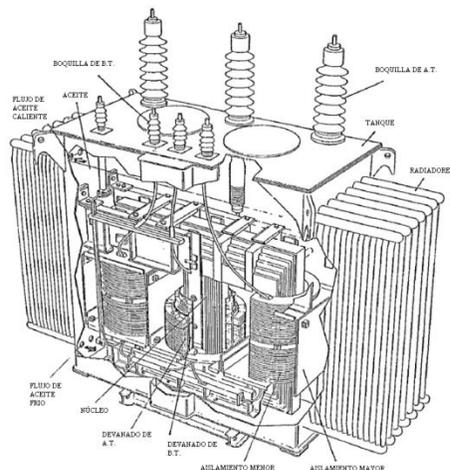


Fig. 4.2 Figura de un Transformador y sus accesorios

- **Tanque conservador**  
Su función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura provocados por las variaciones de carga.
- **Indicadores**  
Proporcionan lecturas de temperatura del aceite y devanados, presión del tanque, nivel y flujo de aceite, etc.
- **Dispositivos de Protección**  
Los transformadores están expuestos a recibir tensiones y corrientes muy elevadas que reducen considerablemente su vida útil, en ocasiones una falla puede producir la explosión del equipo haciendo que se incendie el aceite y los aislamientos, poniendo en peligro la seguridad de las personas próximas al transformador. Es por ello que se requieren equipos que protejan a los equipos.
- **Sistemas de alarma**  
Para obtener una vigilancia constante del funcionamiento del transformador, los dispositivos indicadores de protección están adaptados para enviar una señal de alarma cuando se presenta una situación anormal, que es recibida en la consola de alarmas, siendo de alerta cuando la eventualidad inicia y está dentro de ciertos límites permisibles, y es de emergencia cuando la eventualidad ha rebasado los límites de seguridad.
- **Sistemas de enfriamiento**  
Las pérdidas en el cobre y el núcleo del transformador se convierten en calor que es necesario disipar al medio ambiente para mantener la



temperatura en su interior por debajo del máximo que puede soportar el aislamiento sin reducir ampliamente sus características mecánicas y dieléctricas. Los refrigerantes utilizados son: el aire, el aceite dieléctrico, el agua y otros líquidos dieléctricos.

### **4.3 Transformadores de instrumento.**

Estos dispositivos electromagnéticos tienen como función principal reducir a escala las magnitudes de tensión y corriente empleados en la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general. Los aparatos de protección y medición que son montados sobre los tableros de una subestación no están contruidos de modo que soporten grandes corrientes ni grandes tensiones.

Para disminuir el costo y los peligros de altas tensiones que puede haber en los tableros de control y protección, se emplean los transformadores de corriente y potencial, los cuales representan a escalas muy reducidas, las grandes magnitudes de corriente o tensión respectivamente. Por lo general, estos transformadores son contruidos con sus secundarios, para corrientes de 5 [A] o tensiones de 120 [V].

Los transformadores de corriente van conectados en serie con la línea, mientras que los de potencia se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase y neutro. Con esto, es apreciable el concepto de dualidad que hay entre ambos transformadores y que se pueden generalizar a través de la siguiente tabla para poder pasar de las funciones de un transformador a otro.

#### **4.3.1 Transformadores de corriente (TC).**

En estos dispositivos la corriente secundaria, estando dentro de las condiciones normales de funcionamiento, prácticamente es proporcional a la corriente primaria, sólo que desfasada ligeramente. Realizan dos tipos de funciones: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. Cuando se emplean transformadores en protecciones con relevadores estáticos se requieren núcleos que provoquen saturaciones menores que en el caso de relevadores tipo electromagnético, debido a que las velocidades de respuesta de las protecciones electrónicas son mayores.

#### **Tipos de transformadores de corriente:**



- **Transformadores de medición:** Cumplen con la función de medir, deben reproducir muy bien la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Deben tener un margen de error del 10% hasta un 20% de exceso de corriente sobre el valor nominal.
- **Transformadores de protección.** Tienen como objetivo proteger un circuito, deben funcionar hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente. Para el caso de relevadores de sobrecorriente, solamente interesa la relación de transformación, pero para otros tipos de relevadores, por ejemplo los de impedancia, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error del ángulo de fase dentro de valores predeterminados.
- **Transformadores mixtos:** En este caso, los transformadores son diseñados para una combinación de los dos anteriores casos, un circuito con núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno o dos circuitos más, con núcleos adecuados, para los circuitos de protección



**Fig. 4.3 Transformador de Corriente**

#### **4.3.2 Transformadores de potencial (TP)**

Son transformadores de medición en los cuáles la tensión secundaria es, en condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la tensión primaria, desfasada un ángulo próximo a cero para una conexión apropiada, su conexión es en paralelo con los puntos donde se desea medir la diferencia de potencial. Se dividen en dos grupos:

- Transformadores electromagnéticos.
- Transformadores capacitivos.

Las características tomadas en cuenta para la elección de un TP's son las siguientes:

- Interior o intemperie



- La tensión nominal de aislamiento.
- Se obtiene de uno o varios secundarios según su aplicación, de haber varios secundarios es para separar los equipos que van conectados a cada uno de ellos por razones de precisión o disparidad de funciones.
- Se piden inductivos o capacitivos.
- Para determinar el valor primario se toma el más próximo a la tensión de servicio de instalación, los valores en el secundario más usuales son,  $110/\sqrt{3}V$ , 110V.



**Fig. 4.4 Transformador de Potencial**

#### **4.4 Tableros.**

Las funciones primordiales de cualquier tablero de distribución son elevar al máximo la protección contra cortocircuitos y la segmentación del sistema de distribución para reducir al mínimo el efecto de las fallas del equipo en otras partes del sistema. Además incluir el diseño redundante para facilitar el mantenimiento y las reparaciones, los métodos de transferencia manual o automática de las cargas críticas, y la cuidadosa selección de equipos para las tareas de conmutación especiales o las condiciones ambientales.

Los tipos de tableros de distribución blindados más utilizados hoy en día en las instalaciones industriales y/o comerciales son los de distribución con revestimiento metálico tipo metal-clad o el tablero de distribución de interruptor con gabinete metálico tipo metal-enclosed.



El tablero de distribución con revestimiento metálico tipo metal-clad utiliza interruptores automáticos desmontables; este proporciona protección contra corto circuitos como interrupción de corriente de carga.

El tablero de distribución de interruptor con gabinete metálico tipo metal-enclosed utiliza seccionadores interruptores de carga y fusibles de potencia. Los seccionadores interruptores de carga proporcionan interrupción de corriente de carga (establecimiento e interrupción de corrientes de carga). Los fusibles de potencia proporcionan protección contra cortocircuitos de fase a tierra como de fase a fase.

Aspectos básicos a considerar:

- Voltaje real del sistema
- Magnitud total de la corriente de carga y por circuito
- Saber si habrán conmutaciones pesadas como bancos de capacitores, reactores o transformadores rectificadores conectados uno tras otro
- Frecuencia de las conmutaciones
- Lugar donde se instalará el equipo

El diseño que se mas usado en los sistemas de distribución (y en nuestra propuesta) es el sistema radial.

Es sencillo y económico. En esta configuración, sólo existe una fuente de abastecimiento de la empresa suministradora y todos los circuitos de salida alimentan las cargas.

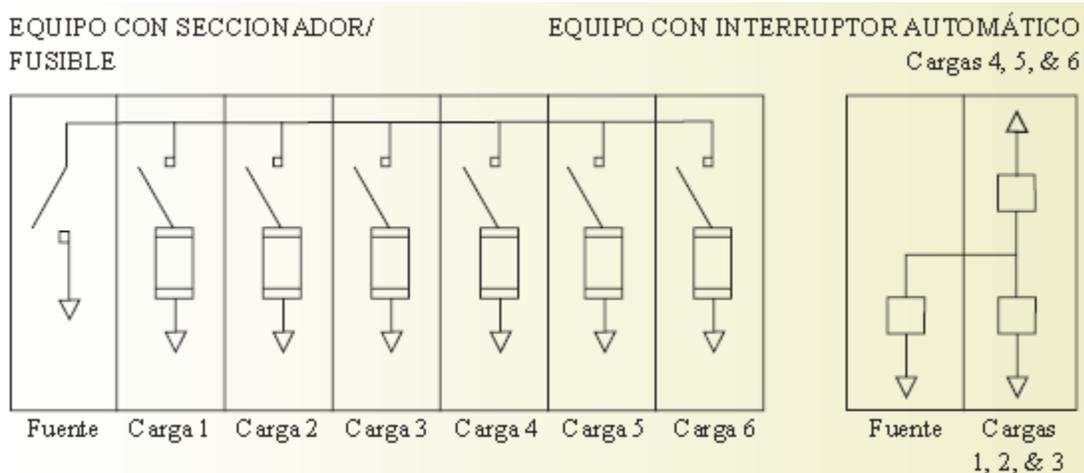


Figura 4.5 Configuración típica de tablero de distribución

#### 4.5 Interruptores.

El interruptor, junto con el transformador, es el elemento más importante de una subestación, ya que su comportamiento determina la confiabilidad del sistema eléctrico de potencia.

Su función es abrir y cerrar la continuidad del sistema eléctrico en condiciones normales de carga, ya sea para dar mantenimiento, reparar o cambiar las máquinas, aparatos o líneas y cables que constituyen al sistema. Debe ser capaz de interrumpir corrientes que van desde su valor nominal hasta la corriente de corto circuito de corto circuito en forma confiable y eficiente.

Los interruptores están diseñados para formar módulos independientes, su construcción es de inserción simple junto con una cámara de gas de una sola presión, lo que los hace sencillos, compactos y robustos. La cámara de extinción consiste por lo general en un sistema de tipo embolar que envía un dieléctrico sobre el arco, a presiones varias veces mayores que la de llenado normal, originando el enfriamiento del arco y su corte cuando la corriente en él pasa por el valor cero. Este efecto de soplado acompañado obviamente al del alargamiento del mencionado arco, que se produce al incrementarse la distancia entre las partes fija y móvil.

**El Arco eléctrico.**

El arco eléctrico está constituido por gas ionizado de temperaturas muy altas (2 500°C a 10000°C), formado por los electrones libres desprendidos de los átomos; estos contribuyen preponderantemente a la circulación de la corriente en el arco y mantiene el proceso de ionización. Los iones positivos también contribuyen al proceso de circulación de corriente pero en menor grado que los electrones, pues la movilidad de estos es mucho mayor debido a que su masa es mucho menor con respecto a la de los iones.

**4.6 Cuchillas desconectadoras.**

Su función es conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica para efectuar maniobras de operación o dar mantenimiento al equipo; las cuchillas pueden abrir circuitos bajo la tensión nominal pero nunca cuando fluye corriente a través de ellas, por lo cual, antes de abrir un juego de cuchillas siempre se deberá abrir primero el interruptor correspondiente.

Las cuchillas están instaladas dentro de su envolvente y son tan compactas que pueden parecer una simple prolongación de las barras. Están diseñadas en base a una conexión y desconexión telescópicas, con contactos fijos del tipo llamado “tulipán”, y disponen de ventanas para poder observar desde el exterior su posición. Su operación es normalmente tripolar utilizando un mecanismo que está acoplado por lo general a sistemas motorizados

**Cuchillas de puesta a tierra**

Las cuchillas de puesta a tierra están diseñadas de tal modo que pueden aplicarse a todos los módulos distintos. Su conexión y desconexión son del tipo telescópico y suelen suministrarse de dos tipos:

a) De mantenimiento (lentas):

Se construyen para ser operadas manualmente en forma monofásica o eléctricamente en forma trifásica. Estas cuchillas están diseñadas para conducir corrientes de corto circuito en posición “cerrada”. Como indica su nombre se utilizan para aterrizar toda o parte de una subestación con objeto de proporcionar seguridad al personal de mantenimiento.

b) De cierre rápido:

Estas cuchillas están construidas en forma similar a las anteriores, con la diferencia de que pueden cerrar bajo corrientes de corto circuito. Su



operación es trifásica basada en resortes o servomotores que a su vez son cargados por un motor eléctrico.

#### **4.7 Apartarrayos.**

Son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o des balanceo de sistemas.

Se comporta como aislador mientras la tensión aplicada no excede cierto valor predeterminado, y se convierte en conductor al alcanzar ese valor la tensión conduciendo a tierra la onda de corriente producida por la sobretensión.

Entre sus funciones más importantes se encuentran:

- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño-
- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- Eliminar la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.

Los apartarrayos están sometidos a dos tensiones: la tensión de operación del sistema y las sobretensiones que producen las descargas atmosféricas. En condiciones normales de operación

##### **- Apartarrayos óxido de Zinc**

Este tipo de apartarrayos se elaboran sin entrehierros, y cuyas características lo acercan a una válvula eléctrica no lineal ideal, el material con que se fabrican los bloques es óxido de zinc (ZnO), tiene las mejores características de no linealidad y gracias a sus bajas pérdidas a tensiones nominales de operación, ha sido posible no utilizar entrehierro, lo cual permite reducir considerablemente el tamaño y el peso del equipo.

Sus características de tensión permiten a este tipo de apartarrayos descargar casi en forma instantánea únicamente a un valor de corriente predeterminado, lo que hace posible mantener un nivel de protección adecuado al sistema.



### **4.8 Fusibles en la acometida.**

En los Sistemas de potencia sería excesivamente costoso proteger a los equipos contra sobre corrientes sólo con interruptores, por esta razón se usan extensamente los fusibles que son dispositivos sencillos, económicos y menos versátiles que los interruptores.

Existen tres tipos básicos de fusibles de alta tensión:

- De expulsión
- Limitadores de corriente
- De vacío

Los fusibles de expulsión consisten de un tubo de fibra en cuyo interior se coloca un elemento fusible de corta longitud conectando a los extremos del portafusibles por un conductor apropiado, el arco producido al fundirse el fusible causa reacción química en el ácido bórico que lo rodea manifestándose como óxido de boro y vapor de agua, formando un medio turbulento que contribuye a desionizar el medio donde se produce el arco, una vez extinguido al pasar la corriente por cero se restituye la rigidez dieléctrica rápidamente y de esa forma soporta el voltaje de recuperación.

Los fusibles limitadores de corriente tienen un elemento fusible muy largo rodeado de arena de sílice, todo confinado en un tubo de vidrio o material cerámico; cuando la corriente que circula por el fusible alcanza un valor suficientemente alto, el fusible se funde simultáneamente en toda su longitud produciéndose una rápida elevación de presión, el arco eléctrico alargado induce una resistencia elevada al circuito de un tiempo muy corto, lo que produce una gran caída de voltaje en el arco limitando el aumento de la magnitud de la corriente, la resistencia del arco modifica el factor de potencia del circuito alcanzando un valor próximo a la unidad y la corriente pasa por cero casi al mismo tiempo que el voltaje, por lo que el voltaje transitorio de recuperación que aparece después de la interrupción de corriente, es muy pequeño

En los fusibles de vacío la interrupción se produce al separarse los contactos dentro de un recipiente al vacío, al separarse los contactos y la corriente se concentran en los puntos salientes de la superficie de contacto y cesa cuando se evapora el último puente entre los dos contactos.



#### **4.9 Banco de baterías.**

Las baterías son el equipo encargado de proporcionar alimentación al circuito de disparo, enviando a través de los contactos de los relevadores la señal de disparo a la bobina de los interruptores. La alimentación al circuito de disparo se prefiere de corriente directa en vez de corriente alterna debido a que esta alimentación puede no ser de la adecuada magnitud durante un cortocircuito; por ejemplo, cuando ocurre una falla trifásica puede resultar una tensión de corriente alterna igual a cero para la alimentación de los servicios, por lo que en estas circunstancias la potencia requerida para el disparo no puede ser obtenida del sistema de corriente alterna, con lo cual fallaría el disparo.

La batería está conectada permanentemente a través de un cargador-rectificador al servicio de estación de corriente alterna. El cargador tiene capacidad suficiente de potencia aparente (VA) para proporcionar toda la carga en estado estable suministrada por la batería.



## **CAPÍTULO 5 RED DE TIERRAS.**

### **5.1 RED DE TIERRAS.**

Una red de tierras es un medio de baja impedancia, el cual tiene como función primaria drenar a tierra toda aquella corriente que sea causada por algún tipo de falla o descarga atmosférica, esto con el fin de proteger al personal y los equipos dentro de una subestación.

Siendo una red de tierras uno de los elementos principales para la protección contra sobretensiones en las subestaciones, a dicha red de tierras, se conectan los neutros de los aparatos, los cables de guarda, estructuras metálicas, los tanques de los elementos y todas las partes metálicas que deban estar a potencial de tierra.

Las ventajas que se obtienen al realizar un buen sistema de tierra son:

- Garantizar un medio seguro al personal que se encuentre en la subestación o en la proximidad de la misma; proteger a los equipos conectados a la red de tierra de riesgos de una descarga eléctrica debida a alguna falla o por alguna descarga atmosférica.
- Tener un circuito de muy baja impedancia para facilitar la circulación de corrientes a tierra, debidas a fallas a tierra o a la propia operación de los equipos instalados.
- Facilitar la operación de los dispositivos de protección, para eliminar fallas a tierra.
- Tener el medio para descargar y desenergizar los equipos, antes de proceder a realizar un mantenimiento.

Actualmente una red de tierras en el campo de la electricidad, juega un papel muy importante, ya que se han descubierto, a lo largo del tiempo diversas aplicaciones, como lo son, drenar corrientes por descargas atmosféricas y/o por fallas en la red eléctrica, limitar sobretensiones, limitar potencial a tierra de los circuitos durante su operación en condiciones normales, la correcta operación de los sistemas de protección contra sobre corrientes, etc.



Con el avance tecnológico que han alcanzado los componentes eléctricos y electrónicos que forman parte de una subestación, se debe cuidar más el diseño de la red de tierras pues en componentes electrónicos y sistemas de cómputo se debe tener cuidado de no tener elevaciones considerables en el potencial ya que afectan a su correcto funcionamiento y tiempo de vida de dichos elementos.

Una red de tierras debe ser instalada a lo largo de todo lo que forma el sistema eléctrico, comenzando por las plantas generadoras, líneas de transmisión, subestaciones de potencias y en los sistemas de distribución.

Para el caso de las subestaciones eléctricas, la red de tierras está formada por una cuadrícula en forma de malla formada de un conductor desnudo enterrado a una profundidad de entre 0.5 y 1 [m], con electrodos conectados en las orillas.

Una cuestión importante para el diseño de una red de tierras es el conocer el terreno sobre el cual se planea instalar la red de tierras. Debido a que la resistividad que presentan los diferentes tipos de terreno es muy variada.

Un ejemplo claro es que en un terreno compuesto por roca el costo de la red de tierras sería muy elevado si lo comparamos con un terreno húmedo. Esto debido a la resistividad tan variada que se presentan en estos dos tipos de terrenos.

En un buen diseño del sistema de tierras primeramente se efectúan mediciones de resistividad del terreno como primer paso, para conocer que tan buen conductor de la electricidad es el suelo. La resistividad es medida en [ $\Omega$ -m], algunos y esta varía dependiendo del tipo de suelo, contenido de humedad y sales, tamaño del grano y su distribución y temperatura; una clasificación general de los tipos de terrenos se puede describir en la Tabla. 3.1.

**Tabla 5.1 Resistividad conforme al tipo de suelo**

<b>Terreno</b>	<b>Resistividad [<math>\Omega</math>-m]</b>
Tierra orgánica húmeda	10
Tierra húmeda	100
Tierra seca	1,000
Roca	10,000



## 5.2 Generalidades de una red de tierra.

Se puede clasificar en tres diferentes sistemas las redes de tierras:

- **Sistemas Radiales.**

Es el sistema más económico, esto lo hace el menos seguro, ya que al presentarse alguna falla en alguna parte de la subestación se generan altos gradientes de potencial. Es utilizada para corrientes de falla a tierra bajas.

- **Sistemas en Anillo.**

Está formado por un conductor de cobre de un calibre aproximadamente de 1 [KCM] alrededor de la superficie que ocupada por la subestación, de donde saldrán derivación a cada elemento de la subestación mediante un conductor más delgado (4/0 AWG), cuando la superficie resulta cuadrada conviene conectar electrodos a tierra en sus vértices. Los potenciales peligrosos disminuyen al tener varios caminos por dónde drenar la corriente y con ello los gradientes de potencial bajan. Son utilizados en niveles de corriente de cortocircuito intermedio.

- **Sistemas de Malla**

Es el sistema que más se emplea en los sistemas eléctricos, consiste en tener varios conductores de cobre, horizontales y verticales de tal manera que formen una malla, conectados a través de electrodos. Es el mejor sistema, pero el más costoso.

## 5.3 Corrientes de corto circuito en la red de tierra.

En el sistema de distribución se pueden presentar varios tipos de fallas eléctricas que pueden alterar el funcionamiento correcto del sistema eléctrico. Para realizar el diseño de sistema de tierras se deben considerar las fallas que se vinculan con la corriente que circulará por la misma, por lo que es necesario conocer las corrientes de cortocircuito que puede presentarse durante alguna de estas fallas:

- Línea a tierra (monofásica).
- Doble línea a Tierra (bifásica a tierra).



Y aunque la falla que más se presenta es la monofásica, se realiza el diseño bajo las condiciones de corrientes de cortocircuito de ambas fallas, tomando como base a la corriente de cortocircuito que presente un nivel mayor de amperaje para realizar un buen diseño del sistema de tierras, y poder seleccionar los conductores de la red, y las protecciones adecuadas para soportar las corrientes de cortocircuito más desfavorables.

### **5.3.1 Máxima corriente de la red de tierra.**

La máxima corriente de falla que puede circular entre la red del sistema de tierra y el terreno en el cual se encuentra, estará dado por la corriente de falla asimétrica eficaz.

$$I_F = I_g$$

Donde:

$I_F$  = Corriente de la red de tierra [A].

$I_g$  = Corriente de falla asimétrica eficaz [A].

### **5.4 Potenciales tolerables por el cuerpo humano.**

Pueden presentarse potenciales peligrosos en cualquier estructura metálica dentro de una subestación si no garantizamos una resistencia del sistema de tierra lo suficientemente baja y puede ser factor para que se presente algún accidente.

Por ejemplo, la posición de la persona entre dos puntos que presenten una alta diferencia de potencial y la duración de la falla, ya que el flujo de corriente a través del cuerpo humano puede causar desde quemaduras hasta la muerte.

Los efectos más comunes de la corriente que circula a través del cuerpo humano dependen de la magnitud, frecuencia y duración.

Los efectos fisiológicos más comunes que se presentan cuando circula corriente eléctrica a través de nuestro cuerpo:

- **Umbral de percepción.**

Con una magnitud de 1 a 2 [mA], en este nivel de corriente una persona tiene la sensación de cosquilleo, pasando este rango pero sin rebasar los 9



[mA], los músculos, a pesar de que empiezan a contraerse estos, aún tiene la habilidad para poder soltar el objeto energizado.

• **Contracción muscular**

Con magnitud de 9 a 25 [mA]. En este nivel las corrientes pueden ser intolerantes y pueden hacer muy difícil o imposible el soltar el objeto que se tenga sujetado. Con niveles de corriente ligeramente superiores las personas experimentan dificultades para respirar.

• **Fibrilación ventricular**

Cuando la corriente que circula por nuestro cuerpo con valores entre los 60 y 100 [mA]. Se produce fibrilación cardiaca y paro respiratorio.

**5.4.1 Corriente de fibrilación.**

La corriente de fibrilación se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El potencial que soporta el cuerpo humano está en función de esta corriente ya que al circular por el corazón produce arritmia cardiaca, provocando que se detenga por completo causando la muerte.

Algunos experimentos realizados con animales han dado paso para determinar una analogía sobre la corriente de fibrilación que tolera una persona, dando como resultado las siguientes ecuaciones:

Para 50Kg	Para 70Kg
$I = \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$	$I = \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$

Donde:

I=Corriente de fibrilación.

t<sub>f</sub>= tiempo que circula la corriente.

Durante una falla a tierra se pueden presentar potenciales peligrosos que pueden dañar a las personas o equipos cercanos a la falla. Dichos potenciales son:

- Potencial de Toque o Contacto.



- Potencial de Paso.
- Potencial Transferido.

**5.4.2 Potencial de toque o contacto.**

Dicho potencial se presenta al realizar contacto con una estructura por la cual circula una corriente de falla. Considerando los parámetros de la corriente de fibrilación y resistencia del cuerpo humano; el potencial tolerado por una persona está dado por la siguiente ecuación:

Para 50Kg	Para 70Kg
$P_t = \frac{116 + 0.17C_s\rho_s}{\sqrt{t_f}}$	$P_t = \frac{157 + 0.24C_s\rho_s}{\sqrt{t_f}}$

Donde:

$\rho_s$ = Resistividad de la superficie del suelo en [ $\Omega$ -m].

$C_s$  = Factor de reducción de superficie.

$t_f$ = tiempo que circula la corriente.

**Potencial de toque o contacto máximo.**

También es llamado potencial de malla máxima, y es el potencial que se genera en el centro de la malla de la red, el potencial incrementa conforme la malla está más alejada del centro de la red. Esto genera un potencial más elevado en las esquinas de la red, y puede ser calculado de la siguiente manera:

$$E_m = \frac{\rho I_G k_m k_i}{L_m}$$

Donde:

$E_m$  = tensión de toque o malla máximo [V]

$k_i$  = factor de ajuste de la geometría de la red



$k_m$  = factor de espaciamento para la tensión de malla

$L_m$  = longitud efectiva de los conductores de la red [m], para la tensión de malla

$I_G$  = corriente de falla que circula en la red del sistema de tierra [A]

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{D^2}{16hd_r} + \frac{(D + 2h)^2}{8Dd_r} - \frac{h}{4d_r} \right] + \frac{k_{ii}}{k_h} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n - 1)} \right] \right\}$$

Donde:

$D$  = espaciamento entre conductores paralelos

$d_r$  = diámetro del conductor de la red [m]

$k_{ii}$  = factor de ajuste de peso y efectos internos en la red

$k_h$  = factor de ajuste de peso y profundidad de la red

$h$  = profundidad de los conductores horizontales enterrados de la red de tierra [m]

Si presenta varillas de tierra a lo largo del perímetro de la red de tierra, con varillas de tierra en los vértices de la red o con las dos condiciones en el área de red:

$$k_{ii} = 1$$

De presentarse un caso contrario al mencionado anteriormente, el factor puede calcularse de la siguiente manera:

$$k_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}}$$

Donde:

$n$  = factor de geometría o numero efectivo de conductores paralelos.

$$k_{ii} = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

Donde:

$h_0 = 1.0$  [m] profundidad de referencia de la red



El factor de ajuste de geometría o de la irregularidad de la red  $k_{ii}$  en función de 'n' queda definido como:

$$k_i = 0.644 + 0.148n$$

Podemos expresar el potencial máximo de malla o toque, bajo los siguientes términos:

$$E_m = \frac{\rho I_G k_m k_i}{L_c + 1.15L_r}$$

Donde:

$L_r$  = longitud total del conductor enterrado [m].

$L_c$  = longitud de cada electrodo de tierra [m].

**5.4.3 Potencial de paso.**

Es el potencial que puede tolerar una persona que se encuentra parada o caminando cerca del lugar de la falla. Cuando este potencial es sobrepasado se contraen los músculos de las piernas, y no responden a los impulsos del cerebro y la persona cae al piso quedando expuesta a las corrientes que circulan por el corazón, estos potenciales pueden ser calculados de la siguiente manera:

Para 50Kg	Para 70Kg
$P_p = \frac{116 + 0.7C_s\rho_s}{\sqrt{t}}$	$P_p = \frac{157 + C_s\rho_s}{\sqrt{t}}$

**Potencial de paso máximo.**

Es el potencial de paso que se produce entre un punto en el exterior de una de las esquinas de la red y un punto diagonalmente a un metro fuera de la red. El potencial de paso máximo puede ser calculado mediante la siguiente expresión:



$$E_p = \frac{\rho I_G K_S K_i}{L_S}$$

$$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R$$

Donde:

$E_p$  = potencial de paso máximo [V]

$L_S$  = longitud efectiva de los conductores de la red [m]

$L_C$  = longitud total del conductor enterrado[m]

$L_R$  = longitud total de electrodos de tierra [m]

Haciendo la consideración del potencial de paso a un metro fuera de la esquina más alejada de la red y con un conductor enterrado de 0.25[m < h < 2.5[m],  $k_s$  se puede determinar de la siguiente forma:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Donde:

$k_s$  = factor de espaciamento

$D$  = separación entre conductores paralelos [m]

$h$  = profundidad [m]

### **5.5 Potencial transferido.**

Son producidos cuando existen elementos metálicos que salen del lugar de la falla, como pueden ser los rieles, hilos de guarda, tuberías, etc.; o desde un punto remoto externo al sitio de la subestación.

Los cálculos deben considerar el caso más desfavorable, es por ello que deberán tomarse en cuenta el caso de una persona con una masa de 50[kg].



Para mejorar la resistividad superficial del terreno de la subestación se agregan materiales para elevar la resistencia a tierra que normalmente presenta el personal que se encuentra en la subestación. Además de brindar más ventajas como una capa de resistividad alta, limita el crecimiento de pasto y/o maleza y mantiene la humedad del terreno.

Cuando en la subestación se tiene la capa superficial de alta resistividad, es necesario realizar el cálculo para determinar el valor del factor de reducción de superficie:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

Donde:

$\rho$  = resistividad del suelo debajo de la capa superficial [ $\Omega$ -m].

$\rho_s$  = resistividad del material de la capa superficial [ $\Omega$ -m].

$C_s$  = factor de reducción de superficie.

$h_s$  = espesor de la capa superficial [m].

Si la subestación no cuenta con un material que forme la capa superficial que ayuda a elevar la resistencia a tierra que presenta una persona, el valor del factor de reducción de superficie  $C_s$  será:

$$C_s = 1$$

Algunos de los valores de resistividad de materiales aislantes más usados en la capa superficial de una subestación se presentan en la siguiente:

Tabla 5.2:

Material	Resistividad a 20° C [ $\Omega$ -m]
Ámbar	$5 \times 10^{14}$
Azufre	$1 \times 10^{14}$
Baquelita	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^{14}$
Cuarzo (fundido)	$75 \times 10^{16}$
Ebonita	$1 \times 10^{13} - 2 \times 10^{16}$
Madera	$1 \times 10^8 - 2 \times 10^{11}$



Mica	$1 \times 10^{11} - 2 \times 10^{15}$
Vidrio	$1 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Grava de galeana (metal negro)	$3 \times 10^3$
Granito gneis	$25 \times 10^3$
Grava bolder	$15 \times 10^3$
Piedra caliza	$5 \times 10^3$
Grava moran	$3 \times 10^3$
Roca base, dura	1190

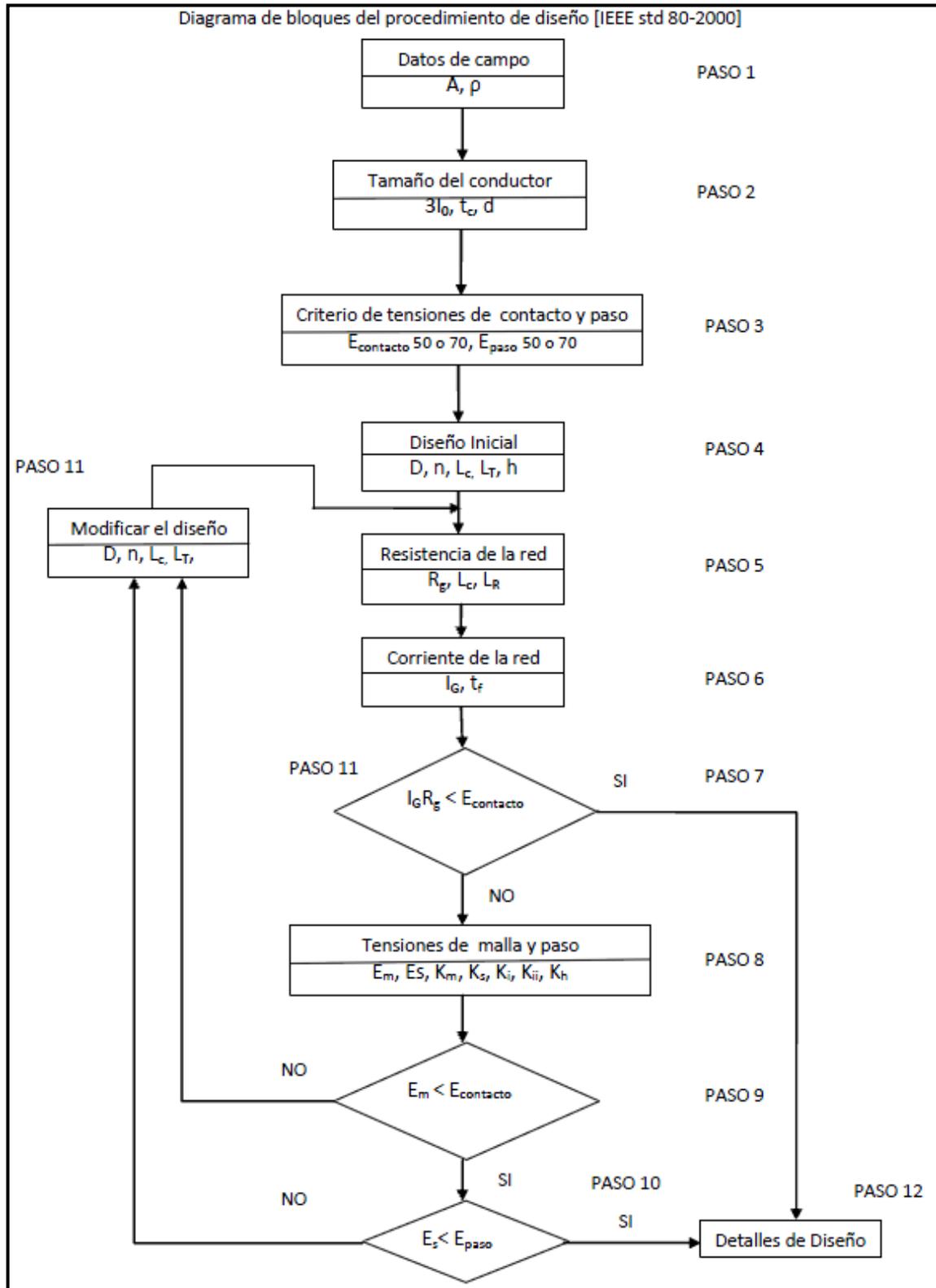
### 5.6 Duración de la falla

Observando las ecuaciones que nos describen los potenciales peligrosos, se observa que es importante reducir el tiempo que dura la falla. Para reducir los tiempos de libración de fallas, es necesario realizar un buen ajuste de las protecciones.

### 5.7 Cálculo de la malla de tierra

El método de cálculo para verificar que el valor del sistema de tierras se encuentra dentro de los límites de seguridad en lo que se refiere a voltajes de malla, de toque y de paso, es el descrito en el IEEE Std. 80-2000 "Guide for Safety in AC Substation Grounding"

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques con el procedimiento para el diseño de un sistema de puesta a tierra:





De acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización), en el Artículo (921-18) dice:

*“921-18. Resistencia a tierra de electrodos. Disposiciones generales. El sistema de tierras debe consistir de uno o más electrodos conectados entre sí. Debe tener una resistencia a tierra baja para minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto (se considera aceptable un valor de 10 Ω; en terrenos con alta resistividad este valor puede llegar a ser hasta de 25 Ω.”*

Los datos requeridos para hacer una propuesta para el diseño del sistema de puesta a tierra son:

Calibre del conductor	AWG
	kCM
	mm <sup>2</sup>
Diámetro del conductor [m]	
Separación conductores paralelos verticales [m]	
No. De divisiones verticales	
Longitud conductor vertical [m]	
Separación conductores paralelos horizontales [m]	
No. De divisiones horizontales	
Longitud conductor horizontal [m]	
Profundidad de la malla [m]	
Área de la malla [m <sup>2</sup> ]	
No. De varillas o electrodos	
Longitud de las varillas [m]	
Longitud total del conductor utilizado [m]	
Resistividad del terreno [Ω-m]	
Resistividad segunda capa [Ω-m] (concreto)	
Espesor segunda capa [m]	
Corto Circuito Monofásico [A]	
X/R	
Tiempo de liberación de falla [s]	



### 5.8 Formas de instalar el electrodo de puesta a tierra.

Un electrodo de puesta a tierra puede ser enterrado de forma vertical, horizontal, este electrodo puede ser una varilla con relleno químico, varillas en paralelo, mallas de cables enterrados, una placa enterrada, etc.

#### 5.8.1 Electrodo múltiples

Una varilla enterrada, es un medio económico de instalar un sistema de tierra; sin embargo por lo general su valor de resistencia a tierra es alto, por lo cual frecuentemente se deben colocar varios electrodos en paralelo para lograr un valor aceptable. Calcular el valor de dos o más electrodos en paralelo representa un gran margen de error, ya que en los cálculos se considera suelo homogéneo en condiciones ideales, esto en la práctica no acontece.

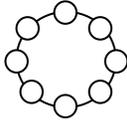
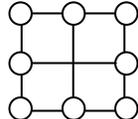
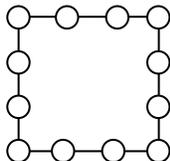
En la tabla 5.3 se muestra algunas formas de arreglo y sus valores esperados de resistencia a tierra.

Valores esperados	Arreglo
2 electrodos en paralelo, reducen al 55% la resistencia de uno	
3 electrodos en línea recta Reducen al 35%	
3 electrodos en delta reducen al 38%	
4 electrodos en cuadro reducen al 28%	
8 electrodos en cuadro reducen al 17%	

Tabla 5.3 Electrodo múltiples

Valores esperados	Arreglo
-------------------	---------



8 electrodos en círculo reducen al 16%	
9 electrodos en cuadro sólido reducen al 16%	
12 electrodos en cuadro reducen al 12%	

Continuación Tabla 5.3 Electrodo múltiples

5.8.2 Electrodo horizontales

Cuando es imposible utilizar electrodos enterrados en forma vertical entonces se tiene que recurrir a otros métodos, entre ellos, uno bastante eficiente es el de los electrodos horizontales, teniendo como desventajas:

- El requerimiento de mucho espacio.
- Con frecuencia es hurtado.

Por ello es que su aplicación se reduce a lugares donde no se pueden colocar los electrodos verticales, hay suficiente área y no se tiene acceso fácil para evitar su robo, en sistemas de distribución básicamente su aplicación se reduce a los fraccionamientos.

5.8.3 Electrodo en suelo duro

En suelos como el tepetate y roca no es fácil introducir electrodos comunes por lo que se recurre a otros medios para lograr una tierra efectiva, además de su dureza, tienen alta resistividad que dificulta su puesta a tierra porque requieren instalaciones especiales; es decir, con uno o dos electrodos no basta. En la zona rocosa de la Ciudad de México, se han efectuado perforaciones profundas con equipos especiales logrando valores de resistencia bajos pero a un costo elevado.



Una vez efectuada la perforación se pueden colocar varillas de Copper-Weld o cable Cud.

#### **5.8.4 Varillas de copper-weld**

Consiste en una barra circular de hierro forrada con una delgada capa de cobre de 0.25mm, con una longitud aproximada de 3 m., el hierro le da dureza y el cobre la conductividad y la resistencia a la corrosión, se introducen en el suelo por medio de golpes ya que tienen la suficiente consistencia, algunas varillas se pueden unir por medio de conectores, así se pueden tener longitudes mayores.

#### **5.8.5 Electrodo profundos**

Son los más efectivos ya que a mayores profundidades los electrodos llegan a las capas de terreno más húmedas y a veces hasta los niveles freáticos. Este tipo de electrodo se realiza por medio de un taladro que funciona por medio de un compresor de aire, en dicho taladro se colocan brocas con punta de tungsteno al mismo tiempo que se tiene un equipo de medición que va dando los valores de resistencia obtenidos dependiendo la profundidad alcanzada.

#### **5.8.6 Electrodo químicos**

Resultan de modificar el medio que rodea el electrodo, bajando la resistividad del suelo, los más usuales son:

- Carbón mineral (COKE).- Ha venido a sustituir al carbón vegetal por tener mejores cualidades aunque requiere en cierta medida de la humedad. En 1980 como prueba se instaló un electrodo con COKE en terreno basáltico, es decir roca, teniendo una eficiencia del 40%, de una resistencia a tierra original de  $34\Omega$  se redujo a  $23\Omega$ .
- Sulfatos.- Han caído en desuso debido a sus cualidades corrosivas sobre los metales, en particular el cobre.
- Sales.- También al igual que los sulfatos ya no se usan, además de ser corrosivas se diluyen fácilmente en agua.



### 5.8.7 Bentonita

Se usa también como medio artificial para bajar la resistividad del terreno y a la vez reducir el valor de la resistencia a tierra, se empezó a utilizar con estos fines en Hungría y en Checoslovaquia. Es ampliamente empleada con fines diferentes, por ejemplo en las perforaciones profundas para pozos se usa para ademar y evitar derrumbes, en canales para evitar filtraciones, etc.

Básicamente consiste en ocupar las grietas, aberturas y huecos que existen o que se hacen en el terreno, mediante una masa que envuelve las partículas del mismo y los une eléctricamente, formando una gran superficie de contacto que crea un buen camino para las corrientes eléctricas que se drenan por tierra. Cuando la resistencia es demasiado alta, aún con el uso de Bentonita, se puede mejorar provocando grietas con explosiones.

La Bentonita es de difícil manejo debido a que en contacto con el agua forma una película impermeable, su mezclado con agua no es fácil, por lo que se requiere de dos meses para la absorción del 100% del agua.

### 5.9 Propuesta del sistema de tierras para la Subestación General 7.

Como primera propuesta se tiene una red como la que se muestra en la figura 4.4 y posteriormente se desarrollan los cálculos.

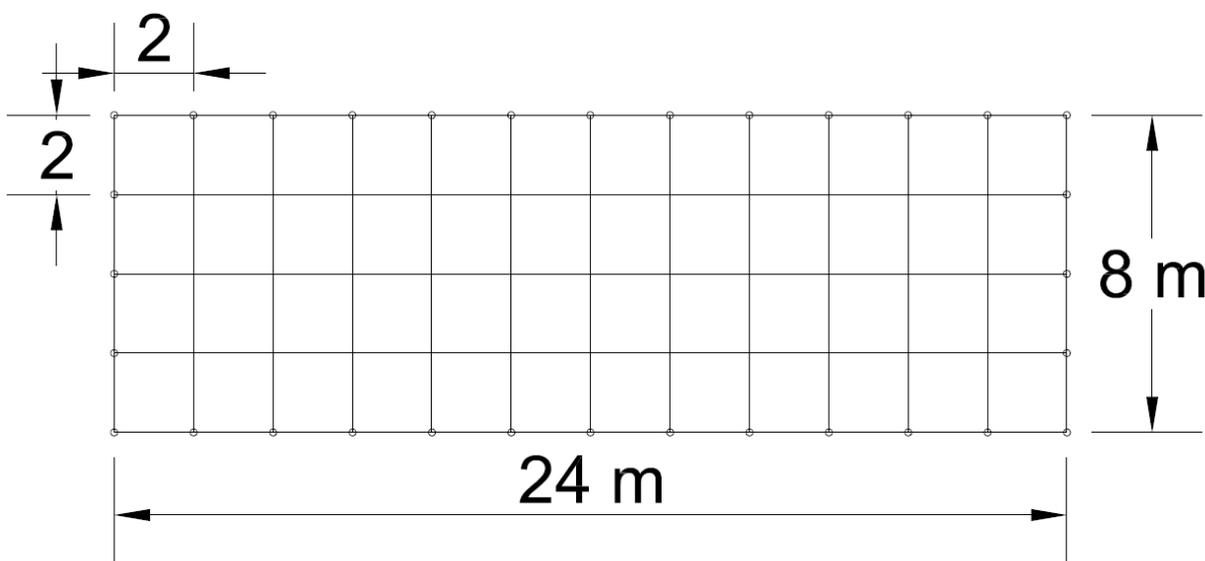


Figura 4.4 Red de tierras propuesta 1 para la SG7.



VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALORES
$\alpha_0$	Coeficiente térmico de resistividad a 0°C	-	0.00413223
$\alpha_r$	Coeficiente térmico de resistividad a la temp. de referencia $T_r$	-	0.00381
$A_m$	Área ocupada por la malla de tierra	m <sup>2</sup>	192
$a_{red}$	Ancho de la red	m	24
$a_{sub}$	Ancho de la Subestación	m	25
$A_s$	Área ocupada por la Subestación	m <sup>2</sup>	225
$C_p$	Factor de proyección para incrementos de tueros en la l de falla	-	1
$C_s$	Factor de reducción del valor nominal de	-	1.06273083
$d_c$	Diámetro del conductor	m	0.01341
$D_f$	Factor de decremento para un tiempo (tf) de duración total de la falla	-	1.02618305
$d_{var}$	Diámetro de la varilla	m	0.0159
$h'$	Coeficiente de la profundidad de enterramiento de la red	-	0.08188406
$H$	Profundidad de la primera capa de resistividad, si existen dos	m	0
$h$	Profundidad de la malla	m	0.5
$I_f$	Valor rms de la corriente simétrica de falla a tierra	A	6502
$I_g$	Corriente simétrica de falla (de diseño)	A	6600
$I_G$	Corriente máxima de malla	A	6772.80812
$I$	Corriente máxima de malla.	kA	6.77280812
$l_1$	Longitud total de conductores paralelos y transversales en la red	m	224
$l_{red}$	Largo de la red	m	8
$l_{sub}$	Largo de la subestación	m	9
$L_{tot}$	Longitud total de conductores y varillas	m	320
$L_{tvar}$	Longitud total de varillas	m	96
$l_{var}$	Longitud promedio de varilla ( 3 mts)	m	3
$N_{cp}$	Número de conductores paralelos (nA)	-	13
$N_{ct}$	Número de conductores transversales (nB)	-	5
$N_{var}$	Número de varillas en la red	-	32
$R_g$	Resistencia a tierra	ohms	-0.06311719
$\rho_1$	Resistividad de la capa superior	ohm-m	---
$\rho_2$	Resistividad de la capa inferior	ohm-m	---
$\rho_r$	Resistividad del conductor a la temperatura de referencia $T_r$	$\mu\text{ohm-cm}$	1.78
$\rho_s$	Resistividad superficial (roca, grava, concreto, etc.)	ohm-m	5000
$\rho_0$	Resistividad promedio del suelo	ohm-m	5400
$S_f$	Factor de división de corriente cuando existen otras mallas	0	1
$T_a$	Temperatura ambiente	°C	40
$TCAP$	Factor de capacidad térmica	J/cm <sup>3</sup> /°C	3.422
$t_c$	Duración de la l de falla para dimensionar el conductor de tierra	s	0.5
$t_{f=}$	Tiempo de duración de la falla	s	0.5
$T_{m=}$	Temperatura máxima permisible en el conector	°C	250
$T_{r=}$	Temperatura de referencia para las constantes del material	°C	20.4671916
$t_s =$	Tiempo de duración del flujo de corriente	s	0.5
$h_s =$	espesor de capa de grava, concreto,etc. si existen	m	0.15
$X/R =$	relación X/R en el bus de falla	-	10



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE RED DE TIERRA PARA UNA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN ANSI/IEEE STD.80-2000

Rg < 5 [Ω]

PASO 1

ancho de subestación: 25.00 m
largo de subestación: 9.00 m
PROF.MALLA (de 0.30 a 1.0 m) -> h: 0.50 m
Área de la subestación: 225 m²

DATOS DEL TERRENO:

TIPO DE SUELO (1=UNIFORME 2=2 CAPAS) -> 1

TIPO 1: RESISTIVIDAD Prom.Suelo (aparente) ρ0= 5400 Ω-m
TIPO 2: RESISTIVIDAD CAPA SUPERIOR ρ1= 5700 Ω-m
RESISTIVIDAD CAPA INFERIOR ρ2= 30 Ω-m
PROFUNDIDAD DE 1a.CAPA H= 50 m

SI EXISTE RESISTIVIDAD SUPERFICIAL..

RESISTIV.SUPERF.GRAVA, CONCRETO,ETC= ρs= 5000 Ω-m
ESPESOR CAPA GRAVA, CONCRETO, ETC.= 0.15 m

DATOS DE VARILLA

LONGITUD PROMEDIO= 3 m
DIAMETRO VARILLA = 0.0159 m
1/2" = 0.012700 m.
5/8" = 0.015875 m.
3/4" = 0.019050 m.

PASO 2:

CORRIENTE FALLA MONOFÁSICA= 6502 A
CORRIENTE DE DISEÑO = 6600 A
TIEMPO DE DURACIÓN FALLA= tf= 0.5 s
RELACIÓN X/R EN EL BUS DE FALLA= 10

(SIMETRICA MALLA)

30 CICLOS

CON 'X/R' Y 'Ta' SE OBTIENE EL FACTOR DE DECREMENTO
Calculado Df= 1.0262
FACTOR DE PROYECCION Cp= 1
FACTOR DIV.DE CORRIENTE Sf = 1

Df = sqrt(1 + Ta/tr \* (1 - e^(-2\*tf/Ta)))
Ta = X/R / (120 \* pi)

CÁLCULO DE LA CORRIENTE MAXIMA DE MALLA:
IG= 6772.81 A
I= 6.772808116 kA

CÁLCULO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR:

TIEMPO DE FALLA PARA DIMENSIONAR CONDUCTOR = 0.5s

TEMPERATURA CONECTOR (250 o 450)
α0 = 0.004132231
Tr = 20.4671916 °C

αr= 0.00381
ρf= 1.78 μΩ-cm³
TCAP= 3.422 J/CM³/°C
Tm= 250 °C
Ta = 40 °C
Ko = 242 a 0°C

AREA EN mm² = 28.58
AREA EN CMILLS = 56,398
ÁREA EN CMILLS / IG = 8.327190149

COMPROBACIÓN

Ar = t / sqrt(Tcap \* 10^-4 / (tf \* αr \* ρr) \* ln(Ko + Tm / Ko + Ta))

\* CON EL VALOR EN CIRCULAR MILLS SE VE EN TABLAS

CORRESPONDE AL CALIBRE = 2 EN C.M, ES = 66,370

POR RECOMENDACIONES DE NOM-001-SEDE-2012 EL CAL.DEBE SER = (EN SUBESTACIONES = 4/0 , COMO MÍNIMO ) EL DIAMETRO DEL COND. SELECCIONADO SERÁ DE:

de 211600.00 C.MILS. 4/0
0.01341 m



PASO 3

CÁLCULO DE POTENCIALES DE PASO Y CONTACTO TOLERABLES POR EL CUERPO HUMANO PESO 70 50 o 70 kg.

ts = 0.5 SEG. >> BASADO EN CRITERIO DE DISEÑO (COORDINACIÓN DE PROTECCIONES)

Table with 2 columns: OPCIÓN A and OPCIÓN B. Rows include: SUELO SIN RESISTIVIDAD SUPERFICIAL vs SUELO CON RESISTIVIDAD SUPERFICIAL; POTENCIAL DE PASO TOLERABLE; POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE.

PASO 4

Table for PASO 4 design parameters. Includes: DISEÑO INICIAL DE LA MALLA, CONDUCTORES PARALELOS = 13 PROPUESTO, CONDUCTORES TRANSVERSALES = 5 CALCULADO, D = 2.00 m, X = 2.00 m, SE DEBE CUMPLIR QUE D = X PARA QUE LA MALLA SEA CUADRADA, No.DE VARILLAS PROPUESTO = 32, LONGITUD DE TODAS LAS VARILLAS = 96 m, LONGITUD DE TODOS LOS COND.PARALELOS = 104 m, LONGITUD DE TODOS LOS COND.TRANSVERSALES = 120 m, TOTAL (VARILLAS Y CONDUCTORES) = 320 m, L MINIMA = 20,997.47 m, L TOT.CONDS.Y VARS. = 320 m. Includes a '¿CUMPLE?' box with 'SI'.



PASO 5

RESISTENCIA A TIERRA DE LA MALLA (PRELIMINAR) (Para profundidades de 0.25 a 2.5 mts.)

h = 0.5 m LT = 320 m
Ared = 192 m² Rg = 179.0507513 ohms
ρ0 = 5400 ohm-m

PASO 6

CORRIENTE DE DISEÑO = 6600 A. (3 lo)
Df = 1.0262 F.DIV.C. = 1

FACTOR DE PROYECCIÓN Cp = 1
CÁLCULO DE LA CORRIENTE MÁXIMA DE MALLA: IG = 6772.81 A

PASO 7

POTENCIAL DE TRANSFERENCIA = 1212676.38 V
E cont50 ó 70 = 1991.73 V

SI EL POTENCIAL DE TRANSFERENCIA ES MENOR QUE EL POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE, ENTONCES EL DISEÑO ES ÓPTIMO Y NO SE HARAN MÁS CÁLCULOS



PASO 8

CÁLCULO DE POTENCIALES DE CONTACTO Y PASO EN LA MALLA

OPCIÓN MÁS COMÚN (VARILLAS EN 4 ESQUINAS)

Kii = 1 nA = Ncp = 13
L Total = 398.0261779 MTS nB = Nct = 5
n = 8.06 Para calcular Em (Potencial Contacto Malla)
n = 13 Para calcular Es (Potencial de paso en Malla)
Ki = 2.5680 h = 0.5 mts.
Kh = 1.2247 h0 = 1 prof.ref.malla
Km = 0.4444 ρ0 = 5400 ohm-m

POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA Em = 104,873.477 V

Ki = 1.8372
Ks = 0.6047

POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA Es = 102084.22 V

PASO 9

COMPARACIÓN DE POTENCIALES PARA PERSONAS DE 70 Kg

Table with 4 columns: MALLA, TOLERABLE, ¿CUMPLE?, and values for POTENCIAL DE CONTACTO and POTENCIAL DE PASO.



Al dar un valor de resistencia a tierra de 179[Ω] Como primera propuesta se tiene que rediseñar la red, por lo cual se hace una nueva propuesta como la que se muestra en la figura 4.5 y posteriormente se desarrollan los cálculos a partir del paso 4 (según el diagrama de bloques, establecido en el Std. 80-2000).

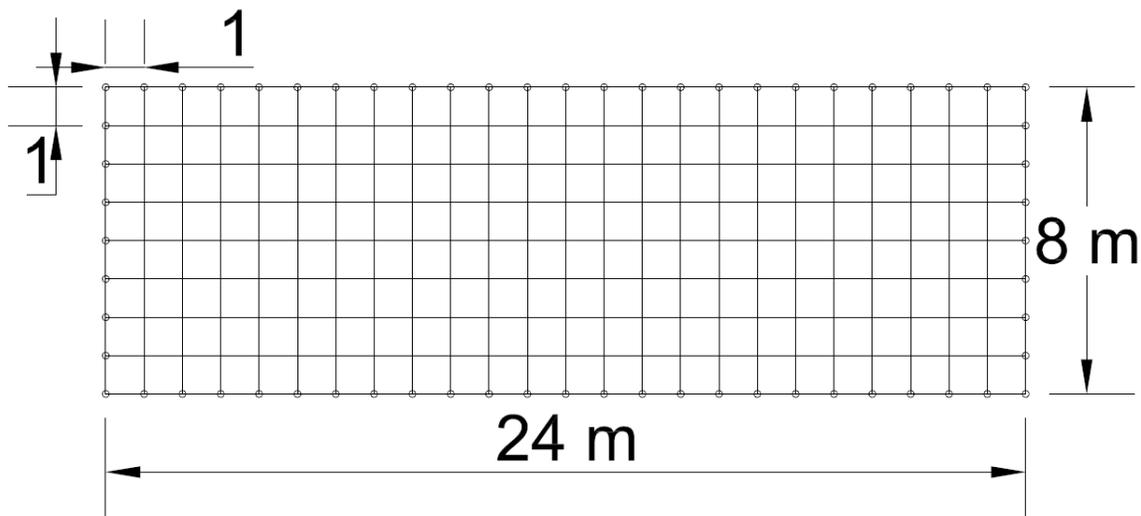


Figura 4.5 Red de tierras propuesta 2 para la SG7.

PASO 4

DISEÑO INICIAL DE LA MALLA				
CONDUCTORES PARALELOS =		<input type="text" value="25"/>	PROPUESTO	Ncp
CONDUCTORES TRANSVERSALES =			9 CALCULADO	
D =	1.00 m		9 PROPUESTO	Nct
X =	1.00 m			
SE DEBE CUMPLIR QUE D = X PARA QUE LA MALLA SEA CUADRADA				
No.DE VARILLAS PROPUESTO =		<input type="text" value="64"/>		
LONGITUD DE TODAS LAS VARILLAS =			192 m	
LONGITUD DE TODOS LOS COND.PARALELOS =			200 m	
LONGITUD DE TODOS LOS COND.TRANSVERSALES =			216 m	
TOTAL (VARILLAS Y CONDUCTORES) =			608 m	
L MINIMA=	20,763.07 m	L TOT.CONDS.Y VARS. =	608 m	
				<input type="text" value="¿CUMPLE?"/>
				<input type="text" value="SI"/>



PASO 5

RESISTENCIA A TIERRA DE LA MALLA (PRELIMINAR) (Para profundidades de 0.25 a 2.5 mts.)

h = 0.5 m LT = 608 m
Ared = 192 m² Rg = 171.0573302 ohms
ρ0 = 5400 ohm-m

PASO 6

CORRIENTE DE DISEÑO = 6600 A. (3 lo)
Df = 1.0262 F.DM.C. = 1

FACTOR DE PROYECCIÓN Cp = 1
CÁLCULO DE LA CORRIENTE MÁXIMA DE MALLA: IG = 6772.81 A

PASO 7

POTENCIAL DE TRANSFERENCIA = 1158538.47 V
E cont50 ó 70 = 1991.73 V

SI EL POTENCIAL DE TRANSFERENCIA ES MENOR QUE EL POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE, ENTONCES EL DISEÑO ES ÓPTIMO Y NO SE HARAN MÁS CÁLCULOS

¿ES MENOR? NO

PASO 8

CÁLCULO DE POTENCIALES DE CONTACTO Y PASO EN LA MALLA

OPCIÓN MÁS COMÚN (VARILLAS EN 4 ESQUINAS)

Kii = 1 nA = Ncp = 25
L Total = 740.0472161 MTS nB = Nct = 9
n = 15.00 Para calcular Em (Potencial Contacto Malla)
n = 25 Para calcular Es (Potencial de paso en Malla)
Ki = 4.3440 h = 0.5 mts.
Kh = 1.2247 h0 = 1 prof.ref.malla
Km = 0.2598 ρ0 = 5400 ohm-m

POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA Em = 55,775.374 V

Ki = 2.8640
Ks = 0.8488

POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA Es = 120142.03 V

PASO 9

COMPARACIÓN DE POTENCIALES PARA PERSONAS DE 70 Kg

Table with 4 columns: MALLA, TOLERABLE, ¿CUMPLE?, and values for contact and step potentials.



De la primera propuesta se tiene, que al utilizar **320[m]** de conductor (varillas y cable) para la red de tierras, alcanzando un valor de resistencia a tierra de **179[Ω]**; Ahora comparando con la segunda propuesta en la cual se utilizan **608[m]** de conductor para la red de tierras, se alcanza una resistencia a tierra de **171[Ω]** finalmente se hace una tercera propuesta como se marca en la Figura 4.6 y posteriormente se desarrollan los cálculos a partir del paso 4 (según el diagrama de bloques, establecido en el Std. 80-2000).

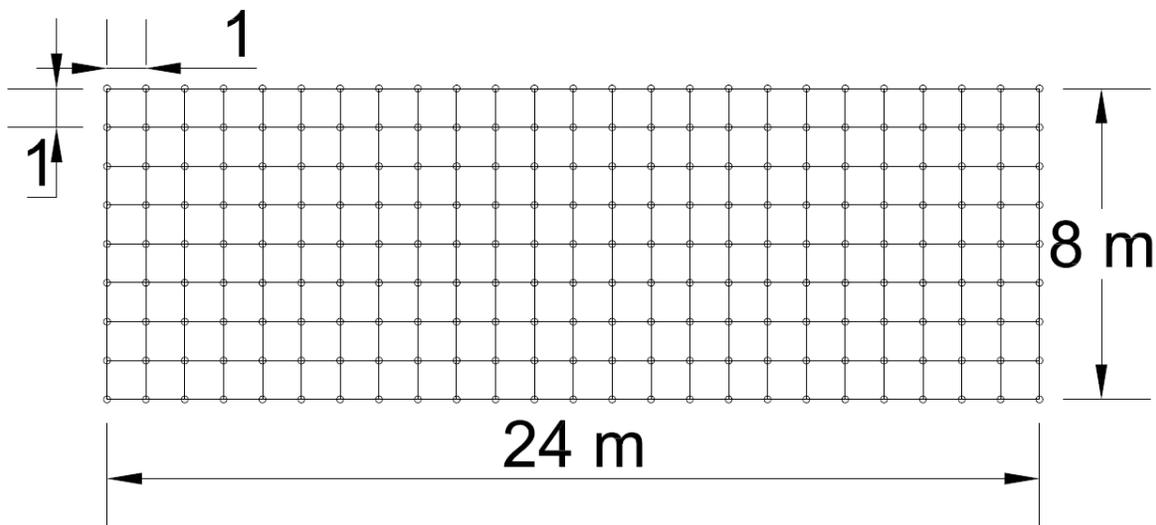


Figura 4.6 Red de tierras propuesta 3 para la SG7.

PASO 4			
DISEÑO INICIAL DE LA MALLA			
CONDUCTORES PARALELOS =	<input type="text" value="25"/>	PROPUESTO	Ncp
CONDUCTORES TRANSVERSALES =		9 CALCULADO	
D =	1.00 m	9 PROPUESTO	Nct
X =	1.00 m		
SE DEBE CUMPLIR QUE D = X PARA QUE LA MALLA SEA CUADRADA			
No.DE VARILLAS PROPUESTO =	<input type="text" value="225"/>		
LONGITUD DE TODAS LAS VARILLAS =		675 m	
LONGITUD DE TODOS LOS COND.PARALELOS =		200 m	
LONGITUD DE TODOS LOS COND.TRANSVERSALES =		216 m	
TOTAL (VARILLAS Y CONDUCTORES) =		1091 m	
L MINIMA=	20,763.07 m	L TOT.CONDS.Y VARS. =	1091 m
			<b>¿CUMPLE?</b>
			<b>SI</b>



PASO 5

RESISTENCIA A TIERRA DE LA MALLA (PRELIMINAR) (Para profundidades de 0.25 a 2.5 mts.)

h = 0.5 m LT = 1091 m
Ared = 192 m²
ρ0 = 5400 ohm-m Rg = 167.1253388 ohms

PASO 6

CORRIENTE DE DISEÑO = 6600 A. (3 lo)
Df = 1.0262 F.DIV.C. = 1

FACTOR DE PROYECCIÓN Cp = 1
CÁLCULO DE LA CORRIENTE MÁXIMA DE MALLA: IG = 6772.81 A

PASO 7

POTENCIAL DE TRANSFERENCIA = 1131907.85 V
E cont50 ó 70 = 1991.73 V

SI EL POTENCIAL DE TRANSFERENCIA ES MENOR QUE EL POTENCIAL DE CONTACTO TOLERABLE, ENTONCES EL DISEÑO ES ÓPTIMO Y NO SE HARAN MÁS CÁLCULOS

¿ES MENOR? NO

PASO 8

CÁLCULO DE POTENCIALES DE CONTACTO Y PASO EN LA MALLA

OPCIÓN MÁS COMÚN (VARILLAS EN 4 ESQUINAS)

Kii = 1 nA = Ncp = 25
L Total = 1555.228494 MTS nB = Nct = 9
n = 15.00 Para calcular Em (Potencial Contacto Malla)
n = 25 Para calcular Es (Potencial de paso en Malla)
Ki = 4.3440 h = 0.5 mts.
Kh = 1.2247 h0 = 1 prof.ref.malla
Km = 0.2598 ρ0 = 5400 ohm-m

POTENCIAL DE CONTACTO EN LA MALLA Em = 26,540.416 V

Ki = 2.8640
Ks = 0.8488

POTENCIAL DE PASO EN LA MALLA Es = 57168.95 V

PASO 9

COMPARACIÓN DE POTENCIALES PARA PERSONAS DE 70 Kg

Table with 4 columns: MALLA, TOLERABLE, ¿CUMPLE?, and values for POTENCIAL DE CONTACTO and POTENCIAL DE PASO.



De esta última propuesta se observa que se utiliza en el diseño de la red de tierras **1091[m]** de conductor alcanzando una resistencia a tierra de **167.13[Ω]**, por lo cual se puede llegar a la conclusión de que al ser un terreno con resistividad muy alta ya que está compuesto por roca y dado que ya se ha demostrado que calculando la red de tierras bajo la forma estándar no se obtiene un valor deseado para la resistencia a tierra es por lo cual se recomienda el uso de electrodos profundos.

Retomando la ecuación del paso 7, ubicada en el diagrama de bloques del procedimiento de diseño de la Std. 80-2000, se hacen las siguientes operaciones:

$$I_G * R_g < E_{Contacto}$$

$$R_g < \frac{E_{Contacto}}{I_G}$$

$$R_g < \frac{26540.42}{6600}$$

$$R_g < 4.02 [\Omega]$$

Con lo anterior se puede concluir que el valor requerido de la resistencia de la red de tierras se puede alcanzar al utilizar un electrodo profundo y en caso de que sea ligeramente mayor el valor obtenido, se recomienda el del neutro corrido entre las subestaciones G7 y G3 para reducir el valor de puesta a tierra.

El neutro corrido, conocido también como neutro común es el que se utilizará en el diseño para la puesta a tierra. En la norma nacional **NOM-001-SEDE-2012** se recomienda lo siguiente:

**“921-12 Separación de conductores de puesta a tierra.**

Como alternativa, los conductores de puesta a tierra pueden correr separadamente hasta una barra o un cable de puesta a tierra del sistema, que esté conectado a tierra en varios lugares.

b) Los circuitos primario y secundario que utilicen un conductor neutro común, deben tener cuando menos una conexión de puesta a tierra por cada 400 metros



de línea, sin incluir las conexiones de puesta a tierra en los servicios de usuarios.”<sup>1</sup>

De lo anterior el neutro corrido puesto en el CCU, se conectara a tierra cada 400m.

---

<sup>1</sup> Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)



## **CAPÍTULO 6. PROTECCIONES EN UNA SUBESTACIÓN**

### **6.1 Generalidades**

Independientemente de un cuidadoso diseño y de un correcto mantenimiento a los elementos que componen una sistema eléctrico de potencia, estos siempre estarán sujetos a fallas debido al colapso eléctrico y/o mecánico.

Para reducir las consecuencias de tales fallas al mínimo posible, el defecto y/o falla debe ser rápidamente detectado, localizado y aislado, posteriormente, se deberán tomar las medidas correspondientes para mantener un suministro continuo de energía eléctrica a los consumidores. Hoy en día estas funciones son realizadas de forma automática por dispositivos y sistemas de protección que forman parte importante del equipo auxiliar de un sistema eléctrico de potencia.

El propósito del equipo de protección es minimizar los efectos de las fallas en los sistemas eléctricos de potencia, las cuales, no pueden ser completamente evitadas.

Las fallas que se presentan pueden ser el resultado de influencias externas o internas, como pueden ser descargas atmosféricas, sobrecargas, cortos debido a árboles caídos sobre las líneas de distribución, objetos que vuelan, errores humanos, entre otros.

Entre las consecuencias más importantes de una falla se encuentran:

- Daño al Sistema debido a los efectos dinámicos de la corriente de falla
- Daño al sistema debido a los efectos térmicos de la corriente de falla
- Pérdida de la estabilidad del sistema
- Perdida del suministro a las cargas
- Riesgo para la vida de los trabajadores

Como el daño que provoca una falla depende principalmente de su duración, es necesario que los dispositivos de protección operen tan rápidamente como sea



posible. Sin embargo, deben también operar en una forma absolutamente selectiva para aislar solamente el elemento fallado del sistema. Estos también deben operar en forma confiable, es decir, debe haber una tendencia a no sobre funcionar y tampoco deben sub funcionar.

### **6.2 Tipos de perturbaciones.**

De entre todas las perturbaciones y causas de fallas en un Sistema Eléctrico de Potencia, se pueden mencionar las más frecuentes:

- Defecto en aislamientos
- Descargas atmosféricas
- Acción de animales
- Caída de árboles u otros objetos sobre líneas
- Destrucción mecánica de máquinas rotativas
- Exceso de carga conectada a una línea
- Factores humanos
- Puestas a tierra intempestivas

Estas perturbaciones en conjunto con muchas otras se pueden agrupar desde el punto de vista del sistema eléctrico distintos grupos de fallas:

#### **6.2.1 Cortocircuito.**

Se produce cortocircuito cuando existe conexión directa entre dos o más conductores de distinta fase. Se caracteriza por un aumento instantáneo de la intensidad de corriente cuyo valor está limitado únicamente por la impedancia de cortocircuito y de las máquinas asociadas al mismo.

#### **6.2.2 Sobrecarga.**

Es una elevación de la intensidad de la corriente por encima de los valores máximas permisibles para la instalación.

**6.2.3 Retorno de corriente.**

En determinadas circunstancias puede darse la inversión en el sentido normal de la corriente.

**6.2.4 Sobretensión.**

Se trata de una elevación del valor de la tensión por encima de los valores normales de utilización. Sus consecuencias son perforaciones de aislamiento cebado de arcos.

**6.3 Características funcionales de un sistema de protección.**

Los dispositivos de protección siempre deben satisfacer las siguientes demandas básicas:

**Selectividad**

La habilidad para aislar solamente el elemento fallado del resto del sistema; esto se puede lograr mediante los métodos siguientes:

- Por diferencia de tiempo de operación, el dispositivo de protección más cercano a la falla dispara primero y todos los demás, deben operar sucesivamente en forma más lenta, con retraso de un tiempo.
- Comparación de amplitud o de fase de las corrientes en ambos lados del elemento protegido.
- Determinación de la dirección (del flujo de potencia de falla) en ambos lados del elemento protegido comparando las señales derivadas.

**Confiabilidad**

La habilidad del dispositivo de protección para llevar a cabo su propósito durante su vida operacional. Se hace una distinción entre:



- **Dependabilidad:** Asegurar que el dispositivo de protección llevará a cabo la función para la cual fue diseñado y disparará en forma selectiva el elemento protegido del resto del sistema en el caso de una falla.
- **Seguridad:** Asegurar que el dispositivo de protección no va a disparar a menos que sea una falla en el elemento protegido.
- **Disponibilidad:** La relación entre el tiempo que un dispositivo esta en servicio y el tiempo que está conectado

### **Velocidad de Operación**

El tiempo entre la incidencia de una falla y el instante en que se genera la señal de disparo para el interruptor por parte del dispositivo de protección es determinado por la configuración del sistema, y en el caso de dispositivos de protección modernos es generalmente del orden de 1 periodo de la frecuencia o fracción de un periodo.

La velocidad requerida de la protección también depende de la importancia del elemento del sistema de potencia y su valor asegurado.

### **Sensibilidad**

Es la habilidad de un dispositivo de protección para reaccionar aún ante desviaciones pequeñas de la variable (generalmente eléctrica) monitoreada de su valor de carga normal debido a disturbios en el sistema.

### **Economía y simplicidad:**

La instalación de una protección debe estar justificada tanto por motivos técnicos como económicos. La protección de una línea es importante, pero mucho más lo es impedir que los efectos de la falla alcancen a las instalaciones alimentadas por la línea o que éstas queden fuera de servicio.

Por tanto, la valoración económica no debe restringirse solamente al elemento directamente protegido, sino que debe tener en cuenta las consecuencias que implicarían el fallo o funcionamiento anómalo del mencionado elemento.



Es también necesario señalar que una protección o sistema de protección debe evitar complejidades innecesarias, ya que éstas serían fuentes de riesgo que comprometerían el cumplimiento de las propiedades que deben caracterizar su funcionamiento.

#### **6.4 Estructuras de un sistema de protección.**

La gran importancia de la función realizada por el sistema de protección hace aconsejable dotarlo de una estructura que impida que el fallo de uno cualquiera de sus equipos deje desprotegido al Sistema Eléctrico de Potencia y desencadene una serie de consecuencias indeseables.

Es recomendable cubrir mediante equipos de respaldo el posible fallo de los equipos de protección principales.

En algunos casos, aspectos del tipo económico hacen inviable la utilización de equipos de respaldo en los casos en los que la probabilidad de producirse una falla es mínima.

Por esta razón, el sistema de protección de la red se estructura en base a:

- Protecciones primarias.
- Protecciones de respaldo

##### **6.4.1 Protecciones Primarias.**

Las protecciones primarias son aquellas que tienen la responsabilidad de despejar la falla en primera instancia. Están definidas para desconectar el mínimo número de elementos necesarios para aislar la falla.

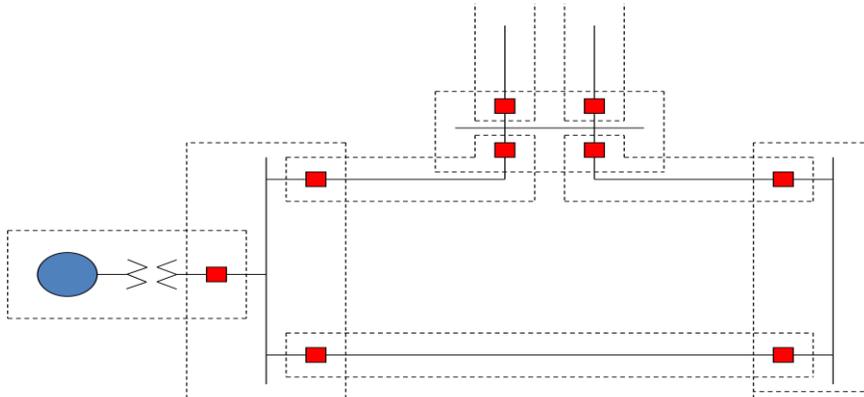


Figura 6.1 Sistema Eléctrico dividido en zonas de protección primaria en torno a cada elemento importante.

#### **6.4.2 Protecciones de Respaldo.**

Las protecciones de respaldo son aquellas cuya función es despejar la falla en segunda instancia, es decir, solamente deberán operar en el caso de que hayan fallado las protecciones primarias correspondientes. Por esta razón es muy importante independizar las causas de fallo de entre la protección principal y la de respaldo, de forma tal que nada que pueda producir el fallo de la protección principal sea capaz también de provocar el fallo de la protección de respaldo.

#### **6.5 Elementos de un sistema de protección.**

Un equipo de protección no es solamente la protección o relé, propiamente dicho, sino que incluye a todos aquellos componentes que permiten detectar, analizar y despejar la falla.

Los principales elementos que componen un equipo de protección son:

- Los TC's
- Los TP's
- Los Relevadores
- Los Interruptores
- El banco de baterías
- El cableado



### **6.6 Sistemas de protección más usuales.**

Las magnitudes eléctricas más usuales que controlan los relés de protección son:

- Intensidad: los relés que actúan por intensidad lo hacen con la corriente que atraviesa el relé. Suelen actuar para un valor máximo o mínimo de intensidad prefijada y su constitución puede ser la de un relé electromagnético o un relé térmico.
- Tensión: los relés que trabajan con esta magnitud lo hacen por las variaciones del valor de tensión aplicada al relé.
- Diferencia: la actuación del relé (denominado relé diferencial) se debe a que la diferencia de dos o más magnitudes eléctricas del mismo tipo sobrepase un valor predeterminado.
- Frecuencia: en este caso el relé actúa cuando el valor de frecuencia medido se aleja del valor prefijado.

### **6.7 Relevadores.**

El corazón de un sistema de protección es el relevador protección. Un relevador de protección compara la señal de entrada con un valor preseleccionado. Si la comparación indica una condición anormal, el relevador inicia una señal de control al interruptor para desconectar del sistema el equipo fallado antes de que pueda ocurrir un daño.

Para realizar todo ello, con independencia de la tecnología empleada para su construcción, una protección desarrolla internamente tres etapas fundamentales:

1. Acondicionamiento de señales.
2. Aplicación de funciones de protección.
3. Lógica de disparo.

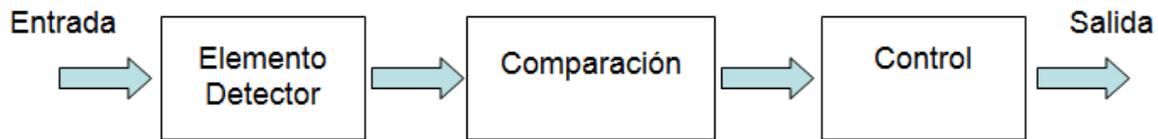


Fig. 6.2 Representación lógica de la operación de un relevador.

Aunque la función principal de la protección por relevadores es reducir los efectos de los cortocircuitos, surgen otras condiciones anormales de funcionamiento que también necesitan esta protección; una función secundaria de la protección por relevadores es indicar el sitio y el tipo de la falla. Dichos datos no solo ayudan en la reparación oportuna, sino que también con los registros automáticos, proporcionan medios para el análisis de la eficacia de la prevención de la fallas.

Los relevadores y sistemas digitales de protección han experimentado un desarrollo acelerado en los últimos años y han venido desplazando a los analógicos en la mayoría de las aplicaciones.

La introducción de la tecnología digital en el área de las protecciones de sistemas eléctricos de potencia confiere a los relevadores micro procesados, ventajas definidas con respecto a sus similares analógicos.

Estas ventajas son:

- El costo de los relevadores digitales es ya comparable con el de los analógicos, en algunos casos es menor, y su tendencia es a decrecer.
- Tienen capacidad de auto diagnóstico, lo que los hace más confiables que los analógicos.
- Son totalmente compatibles con la tecnología digital que se está introduciendo en las subestaciones.
- Tienen una gran flexibilidad funcional, que les permite realizar otras funciones, como las de medición, control y supervisión.
- Tienen capacidad de comunicación con otros equipos digitales de la subestación y el sistema.



Entre las desventajas se puede mencionar:

- Hay un desarrollo insuficiente de las redes de comunicación, que limita las posibilidades que ofrece la capacidad de comunicación de los relevadores.
- Dificultades para la adaptación de los relevadores digitales a las condiciones ambientales de interferencia electromagnéticas de una subestación.

Una vez obtenida la señal de control para la apertura del interruptor, el movimiento mecánico del mecanismo de accionamiento es impartido a una estructura de contacto para cerrar y abrir contactos, cuando se menciona que un relevador funciona se entiende que cierra o abre sus contactos, la mayoría de los relevadores tienen un resorte de control o están restringidos por gravedad, de tal manera que estos asumen una posición dada cuando están completamente sin alimentación; un contacto que cierra bajo está condición es conocido como contacto cerrado, y cuando se abre conocido como contacto abierto. Una nomenclatura que es la de mayor uso, es la designación de 'a' para un contacto abierto y 'b' para un contacto cerrado. El método presente normalizado para mostrar los contactos a y b en diagramas de conexión se muestra en la siguiente figura:

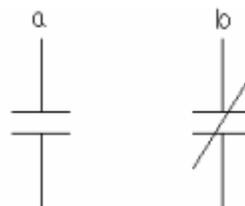


Figura 6.3 Nomenclatura de contactos a) abierto b) cerrado

### **6.7.1 Relevadores dentro de una subestación.**



Para asegurar un correcto suministro de energía eléctrica por parte de una subestación eléctrica, esta debe de contar con un adecuado sistema de protección, por lo que es común encontrar algunos de los siguientes relevadores:

- Relevadores de sobre corriente (50 -051)

Son los relés más utilizados, ya que pueden hacer disparos instantáneos o realizarlos con un retardo de tiempo.

Este tipo de relevadores tienen características que varían entre extremadamente inversas hasta tiempo mínimo definido.

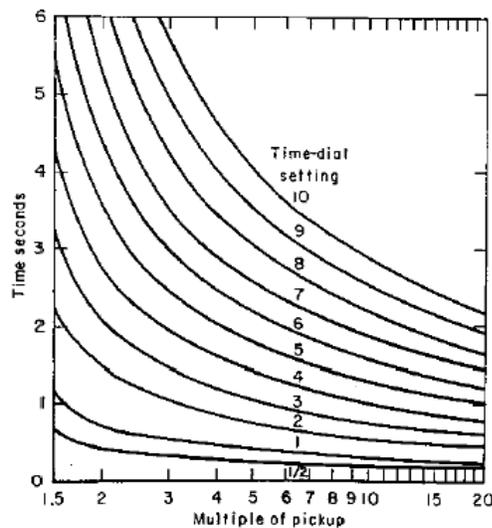


Figura 6.4 Curvas características de relevadores de sobre corriente

- Relevador diferencial (87)

Funciona por la diferencia de corrientes entrantes y salientes del área protegida. Cuando se produce una diferencia entre estas corrientes, el equipo opera.

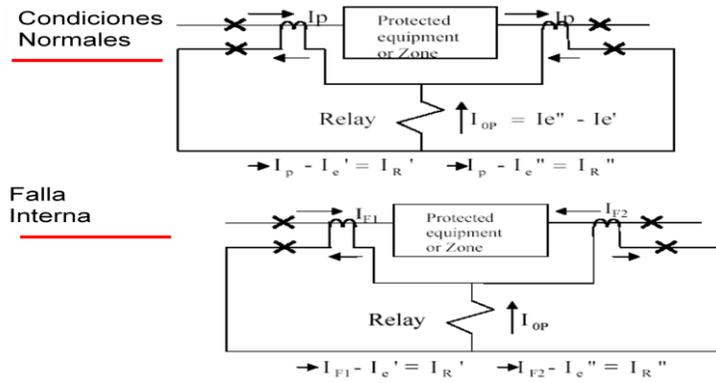


Fig. 6.6 Esquema relevador diferencial

- Relevador de distancia (21)

Responden a la relación del voltaje a la corriente del sistema. Estos relevadores se ajustan para operar cuando la impedancia aparente es menor a la impedancia fija de la zona a proteger.

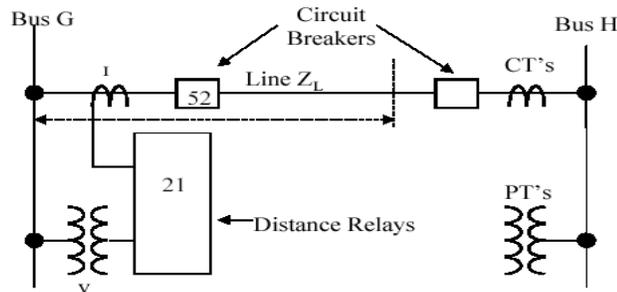


Fig. 6.7 Esquema relevador de distancia

- Relevador direccional (67)

El principio de estos relevadores se basa en la magnitud de la corriente, del voltaje y del ángulo de fase, puede comparar magnitudes y distinguir el sentido del flujo de la corriente. Opera cuando los parámetros salen de su par de operación al que está calibrado.



### **6.8 Propuesta de relevador para la Subestación General 7.**

El SEL-751A es un relevador de protección de alimentador. Está diseñado para protección de sobre corrientes en alimentadores, transformadores, etc. El relevador básico proporciona protección instantánea y de tiempo inverso.

#### Características.

Características de protección estándar.

- Sobrecorriente instantánea de fase (50P).
- Sobrecorriente instantánea a tierra (50G).
- Sobrecorriente instantánea a neutro (50N).
- Sobrecorriente instantánea secuencia negativa (50Q).
- Sobrecorriente tiempo-fase (51P).
- Sobrecorriente tiempo-tierra (51G).
- Sobrecorriente tiempo-neutro (51N).
- Sobrecorriente tiempo-secuencia negativa (51Q).
- Frecuencia (81).
- Protección de interruptor contra fallas.
- Monitor puesto en interruptor automático.

Característica opcional de protección.

- Control de auto reenganche (79).
- Protección basada en voltaje.
- Bajo voltaje (27)
- Alto voltaje (59)
- Sobrevoltaje secuencia negativa (59Q).
- Sobrevoltaje residual (secuencia cero) (59G).
- Elementos de energía (32).
- Factor de potencia (55).
- Pérdida de potencial (60LOP).
- Cambio bajo en la frecuencia para la mitigación de Aurora (81R).
- Cambio rápido en la frecuencia para la mitigación de Aurora (81RF).
- Corriente opcional residual CT-basada en sobrecorriente y tiempo (50G/51G).
- Protección de arco eléctrico.
- La demanda y la medición demanda máxima.



- Comprobar la sincronismo (25).
- Comprobar sincronismo bajo voltaje (27S).
- Comprobar sincronismo sobrevoltaje (59S).
- Estación de monitor de batería DC.

Características de monitoreo.

- Resúmenes de eventos que contiene el relevador ID, fecha y hora, causa de disparos, magnitudes de voltajes y corrientes.
- Reporta eventos incluyendo abierto filtrado y datos analógicos.
- Registro de eventos secuenciales (SER).
- Compatibilidad con SEL-3010 mensajes de eventos.
- Un completo juego de funciones de medición para precisión.

Comunicaciones y control.

- Puerto frontal de panel EIA-232.
- EIA-232, EIA-485, simple o doble, copper Ethernet de fibra óptica y puertos trasero panel de fibra óptica EIA-232.

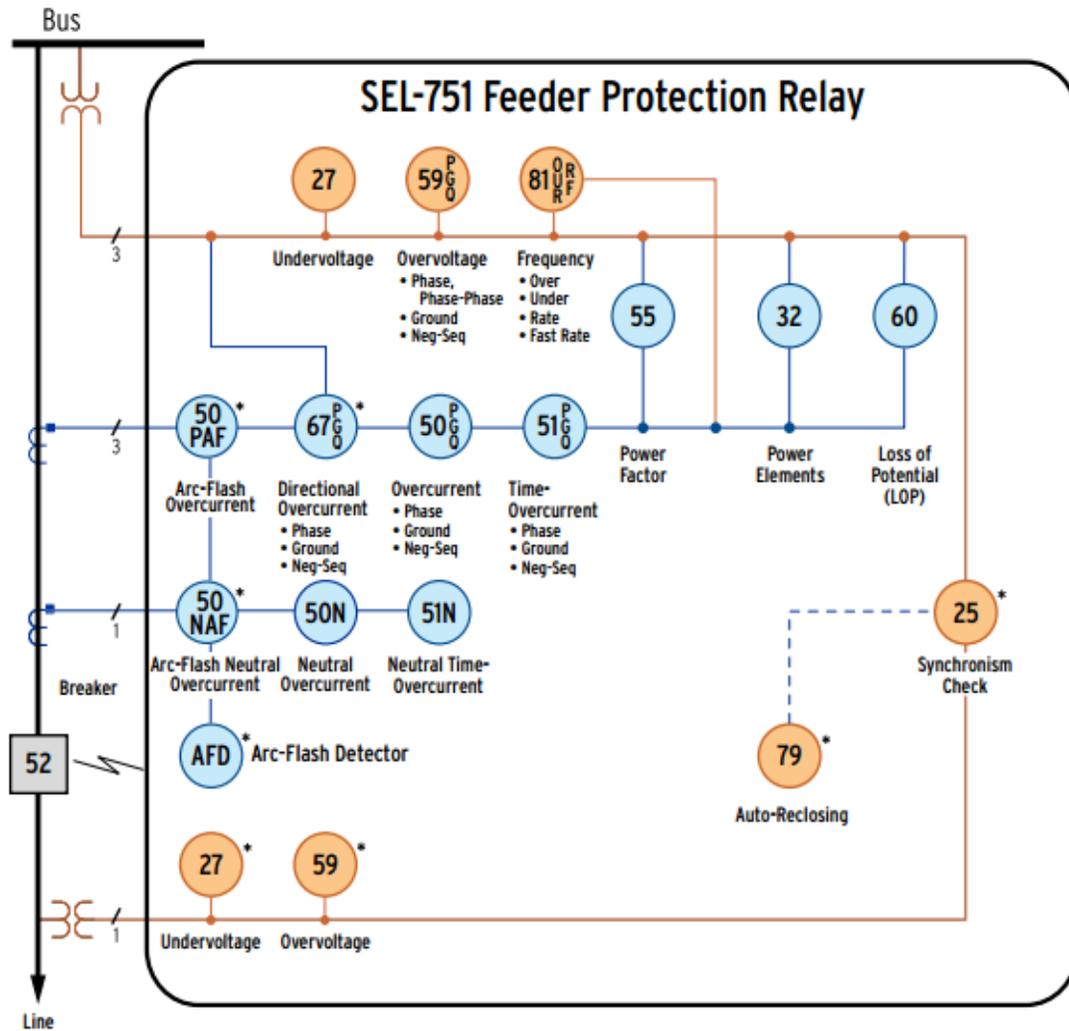


Fig. 6.8 Esquema simplificado del SEL 751



## **CAPÍTULO 7. AUTOMATIZACIÓN**

### **7.1 Automatización.**

“Basándonos en la universal *Ley del mínimo esfuerzo*, conocida sobradamente por todos, podríamos enfocar los logros tecnológicos como la consecuencia de no querer cansarnos más de lo necesario. En el caso de la informática, su nacimiento y evolución se deberían a la necesidad de querer automatizar el cálculo matemático y a no querer contar con los dedos.”<sup>2</sup>

De lo anterior y para llegar a nuestro punto de interés primero debemos definir lo que es la automatización, a la cual podemos definir como la facultad de un sistema o proceso que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos u otros así como de bases computacionales para operar y controlar de forma autónoma la tarea de dicho sistema o una producción. Esta tecnología puede incluir:

- Herramientas automáticas para procesar partes
- Máquinas de montaje automático
- Robots industriales
- Manejo automático de material y sistemas de almacenamiento
- Sistemas de inspección automática para control de calidad
- Control de reaprovechamiento y control de proceso por computadora
- Sistemas por computadora para planear colecta de datos y toma de decisiones para apoyar las actividades manufactureras.

A atreves de su historia los procesos de protección, control, comunicación y monitoreo en las subestaciones eléctricas se realizaban con equipos electromecánicos, lo cual como desventaja principal se tenía una limitada capacidad de comunicación, entre la sala de control y el equipo instalado en el patio, así como la adquisición y almacenamiento de datos.

Debido a lo anterior y a la necesidad de mejorar las funciones de protección, control, comunicación y monitoreo de equipos dentro de una subestación eléctrica es que nacen los sistemas automatizados aplicados a las mismas, para dar una forma más detalla, en cuanto a la operación de la subestación se refiere, así como garantizar tanto la optimización de su operación como su confiabilidad.

---

<sup>2</sup> Aquilino Rodríguez Penin. (2007) Sistemas SCADA. Barcelona (España). Marcombo ediciones técnicas. p 1.



Hoy en día, contar con una subestación automatizada tiene ventajas significativas, principalmente en cuanto a su operación se refiere; ya que entre los equipos que destacan en una subestación eléctrica son las barras, los transformadores, interruptores, cuchillas, apartarrayos, seccionadores, entre otros, se podría optimizar su funcionamiento, si se utilizan elementos automatizados que a su vez permitan un mejor rendimiento de la subestación, utilizando un número menor en el personal de operación.

En la actualidad, en muchas subestaciones eléctricas existen equipos para adquirir datos, así como sus canales de comunicación para la medición. Los datos principalmente adquiridos son:

- Monitoreo de Transformadores.
- Estado de operación y/o automatización de los equipos.
- Medición de la calidad de la energía.
- Manejo de Fallas.

La automatización se hace posible mediante los Sistemas de Control, que son organizaciones de equipos e instrumentos (lo físico), que combinados con procedimientos mentales o algorítmicos (lo inteligente) trabajan en torno a propósitos previamente establecidos.

### 7.2 Tipos de control.

Las funciones principales de un Sistema de Control, son la observación del proceso y sus variables a automatizar, el acondicionamiento de las variables y parámetros observados, el procesamiento de esta información y su comparación con lo normalizado, y en caso de discrepancia, la acción de corrección de los elementos terminales para conseguir los propósitos previamente establecidos.

Los Sistemas de Control se manifiestan desde un sistema muy simple, hasta uno altamente complejo. Este grado de complejidad se dará según el tipo de instrumentación a usar, el tipo de procesamiento y los alcances que se desea dar a la automatización. Estos alcances dependerán de situaciones, por ejemplo:

- Supervisión y Control de la subestación
- Control de maniobras
- Sistemas de Seguridad en la Protecciones
- Factor económico.

Los sistemas de control dentro de las subestaciones eléctricas pueden clasificarse en dos rubros importantes, esto debido a su localización y a su tipo de operación:



Por su ubicación:

- Control local.
- Control remoto.

Por el tipo de operación:

- Control manual
- Control automático.

### **7.2.1 Control Local.**

Este tipo de control es utilizado, para que el o los operadores a cargo de la subestación, realicen maniobras de forma manual en los equipos instalados, esto desde un cuarto de control localizado en la misma subestación. Este tipo de control es el que se utiliza en las subestaciones no telecontroladas, teniendo como principal desventaja el hecho de que debe permanecer un operador a cargo, para vigilar la correcta operación del sistema, y en caso de que se requiera, realizar las maniobras necesarias desde el tablero de control.

### **7.2.2 Control Remoto.**

Este tipo de control se utiliza para controlar a una subestación desde un centro de operación. En las subestaciones que poseen este tipo de control, en condiciones normales, la operación de sus equipos se hace con el telecontrol y solo en casos de emergencia se operan desde un tablero de control local de la misma subestación. Este tipo de control tiene la ventaja principal de disminuir los costos de operación, así como aumentar la confiabilidad y eficiencia.

En la figura 7.1 se muestra un esquema simplificado de este tipo de control.

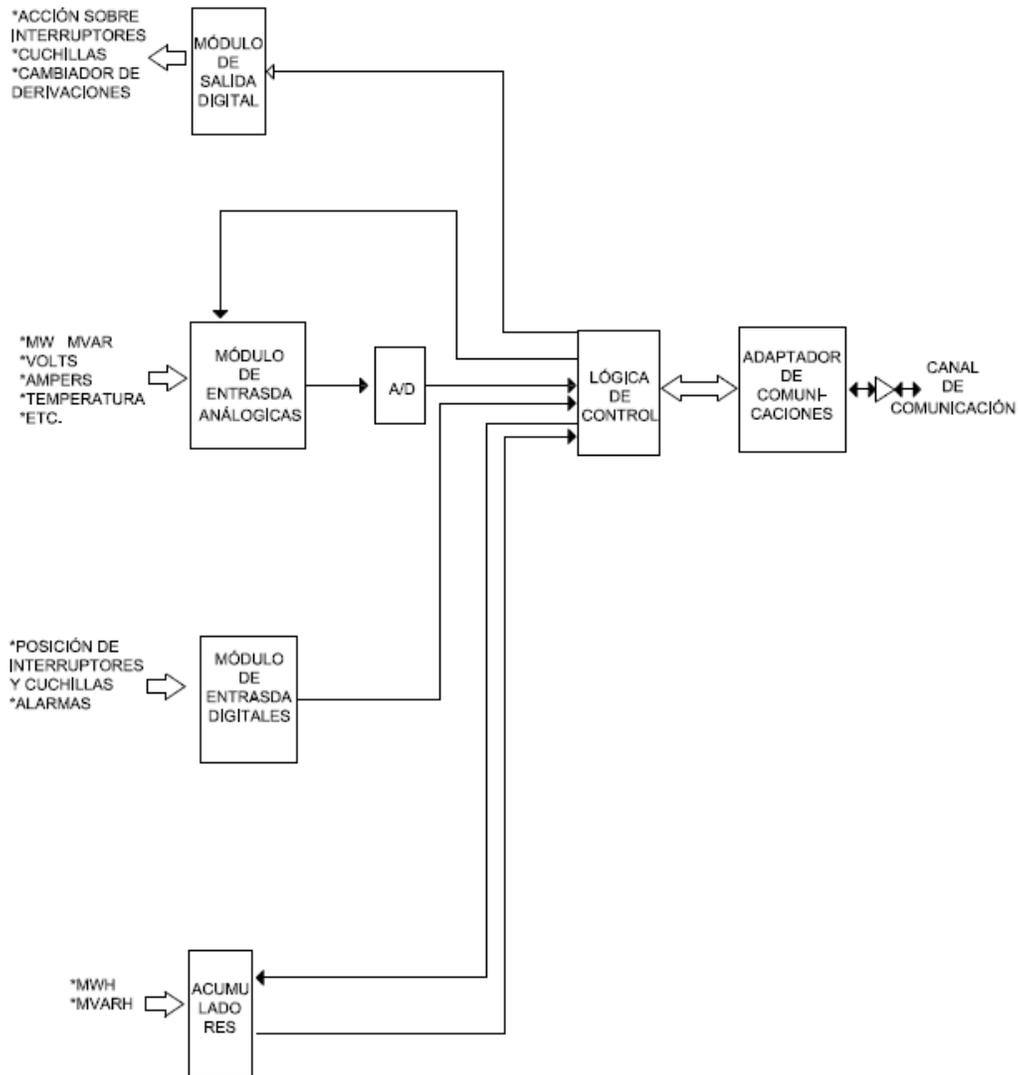


Fig. 7.1 Diagrama simplificado de una terminal remota

### 7.2.3 Control Automático.

Los objetivos principales de emplear un control automático en una subestación son los siguientes:

- Aumentar la rapidez en las maniobras correspondientes para restablecer el suministro de la energía eléctrica, con lo cual se tiene una mejor calidad en el servicio.



- Erradicar lo más posible las fallas por error humano, esto lográndose en los casos en los cuales se pueda automatizar una secuencia de pasos para liberar alguna falla determinada.

### **7.3 Sistemas automáticos de control.**

En principio los equipos utilizados en los sistemas de control automático para una subestación no telecontrolada, son los mismos que para una telecontrolada. El emplear sistemas automáticos de control tiene como objetivos lo siguiente:

- Dar una mejor calidad en el servicio, ya que en caso de falla, con este tipo de control se aumenta la rapidez de las maniobras necesarias para liberar la misma y así restablecer en el menor tiempo posible el suministro de energía eléctrica.
- Erradicar errores humanos en la operación, de los casos que permitan una secuencia predeterminada de la maniobra y pueda realizarse automáticamente.

En la subestación general 7, se utilizara un gabinete tipo Metal Clad con medio de aislamiento en SF<sub>6</sub> a prueba de arco eléctrico que cumpla con los estándares internacionales con estructura modular, el cual alojara el equipo de medición y protección.

Los equipos de medición estarán integrados al relevador de protección, el cual es un SEL-751A (el cual ya se describió en el capítulo 5) y serán multifunciones de rastreo continuo, con memoria y capacidad de conectarse a un sistema de Adquisición de Datos y Control de Supervisión (SCADA, por sus siglas en inglés) con protocolo de comunicación MODBUS/TCP/IP y conectores RS-485.

Debe poder medir los siguientes parámetros:

- Tensión [V]
- Corriente [A]
- Potencia Real [kW]
- Potencia Reactiva [kVAR]
- Potencia Aparente [kVAR]
- Factor de potencia
- Frecuencia [Hz]
- Energía real [kWh]



- Energía reactiva [kVARh]
- Energía aparente [kVARh]
- Sag / Swell
- THD (Distorsión Armónica Total) en tensión y corriente
- Datos, indicando fecha y hora del suceso de:
- Demanda pico
- Pérdida de voltaje
- Retorno de voltaje
- Reconexión

El sistema SCADA es una plataforma, la cual adquiere datos y permite controlar y administrar de forma automática por medio de Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED's por sus siglas en inglés); el SCADA es el que provee de toda la información y datos que se generan en la subestación a los centros de control y permite la manipulación de todo el equipo interconectado en la red de la subestación.

El protocolo MODBUS es del tipo serial, este tipo de protocolo maneja una arquitectura de red “Maestro – Esclavo”, es decir, es punto a punto, en la cual el maestro le pide a cada uno de los esclavos la información que requiere.

La desventaja principal del tipo de arquitectura “Maestro - Esclavo” es que si el esclavo tiene que reportar algún incidente como lo es una falla, se tiene que esperar a que llegue su turno. En la figura 7.2 se muestra la estructura de un mensaje serial.

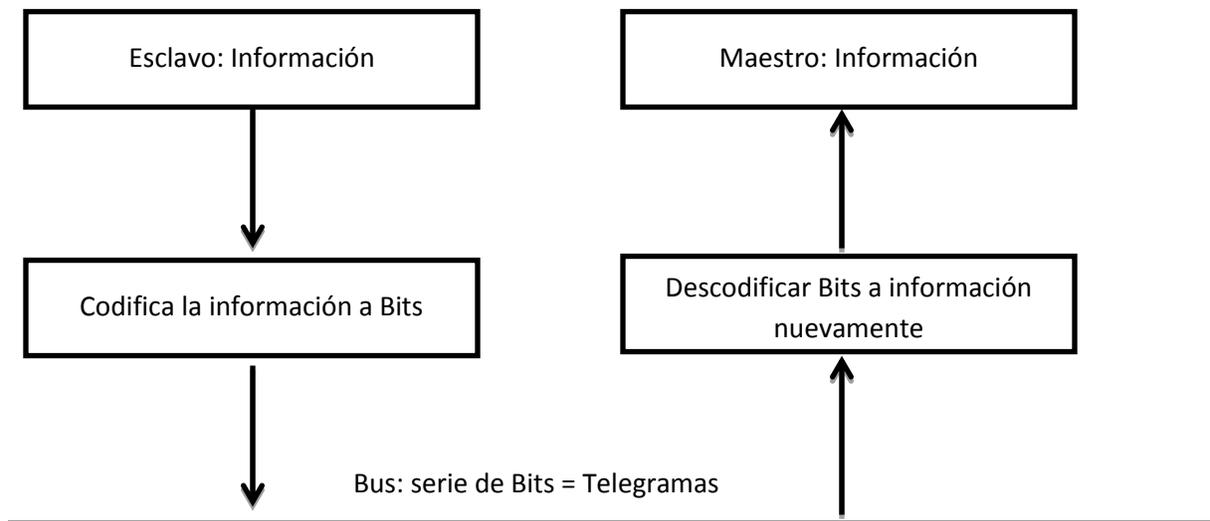


Fig. 7.2 Estructura de un mensaje serial



Después de hacer visitas a las diferentes dependencias del Centro Cultural Universitario, así como realizar mediciones de distintos parámetros eléctricos, entre ellos la resistencia a tierra; entonces, podemos afirmar que las instalaciones del sistema eléctrico de distribución del CCU ya dieron fin a su vida útil puesto que llevan más de 30 años en servicio, aumentando el riesgo a que se presente una falla, además de que será más caro su mantenimiento a largo plazo debido a que gran parte de los equipos instalados ya se encuentran obsoletos.

Cabe mencionar que el crecimiento de la carga en el CCU se fue dando de manera imprevista, debido a la integración de nuevos edificios hasta llegar al punto de no ser suficiente la capacidad de la red de distribución para alimentar a todas las dependencias ubicadas en el CCU, dando como resultado el que actualmente haya dependencias (Polideportivo, TV UNAM, Registro de alumnos, entre otras), energizadas con su propia acometida. Este crecimiento del sistema de distribución dio como resultado que algunos alimentadores se hayan enterrado sin el uso de canalización alguna, lo cual da como problema principal un mayor deterioro en el aislamiento del conductor, aumentando con esto el riesgo de tener una falla.

Con lo anterior podemos argumentar que es necesaria una renovación del sistema eléctrico de distribución del CCU, así como la implementación de una nueva subestación de distribución (Subestación General 7), ya que con esta última se dejará de tener un suministro de energía eléctrica de topología radial, pasando a una distribución con topología anillo abierto; logrando con esto último, aumentar la calidad de suministro eléctrico al CCU.

Por otra parte, y retomando el parámetro de la resistencia a tierra medida en los sistemas de puesta a tierra del CCU, se puede concluir que al instalar un neutro corrido por toda la red de distribución de energía eléctrica, además de aterrizando al mismo con electrodos profundos a no más de cada 400 [m], se reducirá la resistencia a tierra dentro de las Subestaciones Generales 3 y 7, así como en cada una de las subestaciones derivadas, logrando con ello un medio de baja impedancia por el cual se drenaran de una más segura y eficiente corrientes de falla, para que de esta manera se pueda asegurar que las subestaciones eléctricas que conforman el sistema de distribución del CCU sean más seguras tanto para las personas que están a cargo de su mantenimiento como de su operación, así como para los equipos instalados en ellas.



## CONCLUSIONES



Otro punto importante, es el de la carga instalada en el CCU, ya que después de los recorridos realizados y la adquisición de datos de los analizadores de redes conectados en las subestaciones derivadas, se detectó que muchos de los transformadores están sobre dimensionados, ya que el factor de utilización de los mismos es demasiado bajo, esta información se aprecia en la siguiente tabla:

Dependencia	¿Conectada a la red actual?	Capacidad instalada	Demanda registrada	Factor de utilización	Capacidad propuesta
REGISTRO DE ALUMNOS	NO	N/A	-	-	150
CENTRO DE CONTROL	NO	N/A	-	-	112.5
PUBLICACIONES	NO	N/A	-	-	75
BODEGON UNIVERSUM	NO	Alimentado de Oficinas Administrativas	-	-	112.5
TALLER MECÁNICO	NO	N/A	-	-	75
COORDINACION DE POSGRADOS I	SI	500	*	-	500
COORDINACION DE POSGRADOS II	SI	1250	*	-	1250
DGIRE	SI	300	159.825	53%	300
POSGRADO FACULTAD DE ECONOMÍA	SI	300	62.536	21%	150
MUAC	SI	1000	331.393	33%	1000
UNIDAD BIBLIOGRAFICA	SI	750	245.799	33%	500
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	SI	500	74.467	15%	225
POLIDEPORTIVO	NO	N/A	-	-	112.5
ALMACENES Y SERVICIOS DIVERSOS	NO	N/A	-	-	112.5
ALMACEN DE BAJAS PATRONATO	NO	N/A	-	-	75
OFICINAS ADMINISTRATIVAS EXTERIORES	SI	750	293.275	39%	500
UNIVERSUM	SI	1000	364.724	36%	750
TEATRO JUAN RUIZ	SI	1000	263.17	26%	750
SALA NEZAHUALCOYOTL	SI	750	194.825	26%	500
IISUE	SI	Alimentado de Unidad Bibliográfica	-	-	112.5
COORDINACION DE HUMANIDADES	SI	Alimentado del II. Filosóficas	-	-	112.5
II. FILOLOGICAS	SI	Alimentado del II. Filosóficas	-	-	112.5
II. FILOSOFICAS	SI	750	177.151	24%	300
II. SOCIALES	SI	Alimentado del II. Filosóficas	-	-	112.5
TV UNAM	NO	1250	199.421	16%	750
CUEC	NO	500	**	-	500
II. ECONOMICAS	SI	750	78.801	11%	225
II. JURIDICAS	SI	500	227.17	45%	500
II. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	SI	Alimentado del II. Jurídicas	-	-	112.5
FONDO RESERVADO	SI	500	67.95	14%	150

\* Dependencias que aún no entran al 100% de funcionamiento

\*\* En construcción



Centro Cultural Universitario. (s.f). Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Ciudad México .com.mx: [http://www.ciudadmexico.com.mx/attractivos/centro\\_cultural\\_unam.htm](http://www.ciudadmexico.com.mx/attractivos/centro_cultural_unam.htm)

Coordinación de Difusión Cultural. (18 de Abril de 2013). *Conoce el CCU a través de sus visitas guiadas*. Recuperado el 2014 de Noviembre de 2014, de Universidad Nacional Autónoma de México:  
<http://www.cultura.unam.mx/index.html?tp=articulo&id=4026&ac=mostrar&Itemid=&ct=324&titulo=conoce-el-ccu-a-trav%EF%BF%BDs-de-sus-visitas-guiadas&espCult=ccu>

Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM. (2012). *Historia*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Instituto de Investigaciones Filosóficas:  
<http://www.filosoficas.unam.mx/~bib/historia.html>

Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM. (s.f). *Instituto*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Instituto de Investigaciones Filosóficas:  
<http://www.filosoficas.unam.mx/sitio/instituto>

UNAM. (3 de Noviembre de 2014). *Sala Nezahualcóyotl*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Universidad Nacional Autónoma de México :  
[http://www.musica.unam.mx/index.php?Itemid=16&id=8&option=com\\_content](http://www.musica.unam.mx/index.php?Itemid=16&id=8&option=com_content)

CONACULTA. (17 de Octubre de 2014). *Universum, Museo de las Ciencias*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Sistema de Información Cultural:  
[http://sic.conaculta.gob.mx/ficha.php?table=museo&table\\_id=449](http://sic.conaculta.gob.mx/ficha.php?table=museo&table_id=449)

Fundación UNAM, UNAM. (s.f). *Universum, veinte años de contribuir a la divulgación de la ciencia*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Fundación UNAM:  
<https://www.fundacionunam.org.mx/arte-y-cultura/universum-veinte-anos-de-contribuir-a-la-divulgacion-de-la-ciencia/>

Instituto de Investigaciones Bibliográficas Hemeroteca Nacional de México, UNAM. (13 de Agosto de 2014). *85 años de la Biblioteca Nacional en la UNAM*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Instituto de Investigaciones Bibliográficas Hemeroteca Nacional de México:  
<http://bnm.unam.mx/>

TEVE UNAM, UNAM. (s.f). *Presentación* . Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de TeveUNAM:  
<http://www.tvunam.unam.mx/?q=Informaci%C3%B3n%20Institucional>

UNAM. (s.f). *Biblioteca Nacional de México [página principal] México*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Instituto de Investigaciones Bibliográficas: <http://bnm.unam.mx/>



- D. McDonald, J. (2012). *Electric Power Substations Engineering* . New York : CRC Press.
- Enríquez Harper, G. (2008). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. México, D.F.: Limusa.
- Espinosa Y Lara, R. (1990). *Sistemas de Distribución*. México, D.F.: Limusa.
- J. Grainger, J., & D. Stevenson Jr., W. (1996). *Ánisis de Sistemas de Potencia*. Naucalpan de Juárez: McGRAW-HILL.
- LUZ y FUERZA DEL CENTRO. (2003). *Manual de diseño de subestaciones*. México.
- Raúll Martín, J. (2013). *Diseño de subestaciones eléctricas*. México D.F.: Facultad de ingeniería UNAM.
- Viqueira Landa, J. (2012). *Redes eléctricas (Tomo 1)*. México D.F.: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Aquilino Rodríguez, P. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona (España): Marcombo ediciones técnicas.
- Chávez Mosqueda , G. (Octubre de 2013). Propuesta de automatización de una subestación eléctrica de distribución. México D.F., México.
- Cobelo, F. (26 de Enero de 2006). *Arquitecturas abiertas de comunicación para la automatización de subestaciones* . Recuperado el 6 de Enero de 2015, de ZIV a Group Company : [http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/documentacion/notas-technicas/Arquitect\\_AbiertasComunic.pdf](http://www.gridautomation.ziv.es/doc-downloads/documentacion/notas-technicas/Arquitect_AbiertasComunic.pdf)
- Herrera Quiroz, J. (Diciembre de 2014). *Control Industrial Hacia un concepto moderno de la Automatización Industrial*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de ONE TOUCH ELECTRO INDUSTRIA : <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81>
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. (6 de Septiembre de 2003). *Automatización*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey: <http://sifunpro.tripod.com/automatizacion.htm>
- Lavín, H. (Septiembre de 2010). *Automatización de Subestaciones Eléctricas*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de ONE TOUCH ELECTRO INDUSTRIA: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1461&tip=7>
- Toscano Palacios, M. (2010). *Automatización de una Subestación Eléctrica utilizando el Protocolo IEC 61850 y el ICCP para el envío de Datos*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de



Cybertesis - URP Tesis digitales:

[http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/66/1/toscano\\_ma.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/66/1/toscano_ma.pdf)

IEEE. (2000). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding Std 80-2000*.

López, M. G. (2012). *Sistema de tierras en redes de distribución*. México. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

SEL INC. (13 de Mayo de 2014). *SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES*. Recuperado el 10 de Enero de 2015, de Relé de protección de alimentador SEL-751: <https://www.selinc.com/SEL-751/#ui-tabs-1>