



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

TÍTULO DE TESIS

**PÉRDIDAS ELÉCTRICAS EN LA NUEVA
RED DE DISTRIBUCIÓN DE 23 kV EN CU**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO ELECTRÓNICO:**

PRESENTA:

OSCAR OCTAVIO GÓMEZ NERI

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ROBERTO A. ESPINOSA Y LARA**



Ciudad Universitaria 2015

DEDICATORIA.

A Dios por ser tan grande y maravilloso y ayudarme a terminar esta etapa tan importante de mi vida y por todo lo que me ha dado en su tiempo.

A mis padres

Lilia Neri García y Octavio Gómez García. Por el simple hecho de darme la vida, de su gran esfuerzo, amor, motivación y apoyo en todos los ámbitos necesarios para poder a esta etapa de la carrera donde se reflejan todas aquellas noches de estudio, desvelo que también ellos pasaron y aquí está su recompensa.

A mis hermanos.

Ma. Guadalupe Gómez Neri.

Horacio Gómez Neri.

Yaneth Gómez Neri.

Por su gran apoyo y motivación para seguir estudiando de todo corazón se los agradezco.

A mis sobrinos. Mitzy, Diego, Nadia, Natalia, Melani

A mi familia tíos, primos.

En general comenzando por mi abuelita Lupe.

Por su gran apoyo incondicional, moral e incluso económico, por ser una familia unida a pesar de las circunstancias muchas gracias.

A mis amigos.

Son muchos gracias a Dios, mencionare unos cuantos, por su apoyo y por brindarme su amistad, incluyendo a gente como Rosa Valle, Sergio Cortes, Rafael Sánchez, Eber Mtz. Juan Carlos Alfaro, Jessica Guzmán, Angélica Aparicio, Lina, Tania, Misael, Gerardo, Arturo, Joel Galicia, Jonathan, Gasca, y a muchos otros por mencionar.

A Idali por darme su apoyo durante este tiempo.

Gracias y que Dios los llene de paz, amor, bendición, armonía, logros y prosperidad.

AGRADECIMIENTOS.

Ing. Roberto A. Espínosa y Lara.

Por ser mi director de tesis y darme la oportunidad de ser parte de este gran equipo, por sus conocimientos, tiempo y apoyo profesional.

Ing. César Maximiliano López Portillo A.

Fís. Salvador E. Villalobos.

Ing. Guillermo López Monroy.

Ing. Alberto Cortez Mondragón.

Por su apoyo, comprensión y formar parte de mi jurado.

A todos los profesores que aportaron y me dieron su conocimiento y experiencia para mi superación y formación profesional.

A la Universidad y la Facultad de Ingeniería, por tener las instalaciones adecuadas para nuestra formación como profesionistas además de ser una de las más grande e importantes de nuestro país y parte del continente.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES..... | 4 |
| 1.1. Historia de la Energía Eléctrica en México..... | 4 |
| CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA..... | 8 |
| 2.1. Definición de un sistema de distribución subterráneo..... | 8 |
| 2.2. Clasificación y estructuras de un sistema de distribución subterráneo..... | 9 |
| 2.3. Clasificación de redes subterráneas y su operación..... | 10 |
| 2.3.1. Operación radial..... | 10 |
| 2.3.2. Operación en paralelo..... | 11 |
| 2.4. Estructuras en media tensión en redes subterráneas..... | 12 |
| 2.4.1. Anillo abierto..... | 12 |
| 2.4.2. Anillo cerrado..... | 14 |
| 2.4.3. En malla..... | 14 |
| 2.4.4. En doble derivación..... | 15 |
| 2.4.5. Derivación múltiple..... | 16 |
| 2.4.6. Alimentadores selectivos..... | 18 |
| 2.5. Ventajas de un sistema de distribución subterráneo..... | 19 |
| 2.6. Estructuras fundamentales..... | 20 |
| CAPÍTULO 3. CAMBIO DE TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARÍA..... | 23 |
| 3.1. Descripción del Equipo Eléctrico de Distribución existente y estado físico..... | 23 |
| 3.1.1. Transformadores..... | 23 |
| 3.1.2. Subestaciones derivadas..... | 25 |
| 3.1.3. Equipo de Seccionamiento..... | 25 |
| 3.1.4. Equipo de protección..... | 27 |
| 3.1.5. Conductores..... | 27 |
| 3.1.6. Ductos y Pozos..... | 28 |
| CAPÍTULO 4. PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN..... | 30 |
| 4.1. Principio de funcionamiento definición y características..... | 30 |
| 4.1.1. Transformador ideal..... | 32 |
| 4.1.2. Transformador real..... | 33 |
| 4.2. Tipo de transformador en la red eléctrica de CU (6 kV)..... | 36 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.1. Características de los transformadores. | 36 |
| 4.3. Pruebas a transformadores. | 39 |
| 4.4. Pruebas a transformadores instalados en la nueva Red en CU. | 41 |
| 4.5. Pérdidas en transformadores de distribución. | 42 |
| 4.5.1. Pérdidas magnéticas. | 42 |
| 4.5.2. Pérdidas eléctricas. | 45 |
| CAPÍTULO 5. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES SUBTERRÁNEOS. | 48 |
| 5.1. Características y clasificación de cables subterráneos. | 48 |
| 5.2. Cables Subterráneos. | 53 |
| 5.3. Accesorios e instalación de cables subterráneos en el campus universitario. | 57 |
| 5.4. Pérdidas en conductores subterráneos. | 59 |
| 5.4.1. Pérdidas en pantallas o cubiertas metálicas. | 62 |
| CAPÍTULO 6. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN EL CAMBIO DE TENSIÓN. | 63 |
| 6.1. Cálculo de pérdidas en los transformadores de las SD'S. | 63 |
| 6.2. Cálculo de pérdidas en transformadores de distribución de las SG 1 y 2. | 76 |
| 6.3. Cálculo de pérdidas en conductores. | 80 |
| 6.4. Cálculo de las TCO2. | 86 |
| 6.5. Resumen de cálculos. | 89 |
| CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES. | 92 |
| Anexo 1. DIAGRAMAS UNIFILARES..... | 94 |
| Anexo 2. ACERVO FOTOGRÁFICO..... | 109 |
| BIBLIOGRAFÍA. | 112 |

INTRODUCCIÓN.

La electricidad forma parte de nuestro universo desde su origen. Una de sus manifestaciones más espectaculares son las descargas atmosféricas. En la antigüedad, cuando no conocían la electricidad, muchas culturas atribuyeron este fenómeno a la acción de los Dioses. Las primeras observaciones de los efectos eléctricos la realizó Tales de Mileto cerca del año 600 antes de Cristo, el descubrió que luego de frotar ámbar con una piel éste atraía objetos livianos.

Después de varios siglos, muy cerca del año 1660, el médico y físico inglés William Gilbert estudió los efectos eléctricos y magnéticos, pero pasaría un tiempo antes de que los físicos se dieran cuenta que se trataba de un mismo fenómeno. Tanto la electricidad como el magnetismo pasarían a formar del electromagnetismo, mientras tanto, se intentaba descubrir los secretos de este extraño fenómeno, y desentrañar el mecanismo oculto tras la electricidad.

La electricidad (del griego *elektron*, cuyo significado es ámbar) es un fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas y cuya energía se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos, entre otros, en otras palabras es el flujo de electrones.

La electricidad es originada por las cargas eléctricas, en reposo o en movimiento, y las interacciones entre ellas.

Cuando varias cargas eléctricas están en reposo relativo, se ejercen entre ellas fuerzas electrostáticas. Cuando las cargas eléctricas están en movimiento relativo se ejercen también fuerzas magnéticas.

Se conocen dos tipos de cargas eléctricas: positivas y negativas.

En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted demostró que una corriente generaba un campo magnético descubriendo así la relación que existe entre la electricidad y el magnetismo. Siguiendo este descubrimiento, André-Marie Ampere demostró que un solenoide aumentaba considerablemente el campo magnético generado, en proporción directa con la cantidad de vueltas que se le diera al cable.

Al año siguiente del descubrimiento de Oersted, Michael Faraday, aportó la idea fundamental de la física moderna, por primera vez para describir una fuerza electromagnética se hablaba de campo. Tiempo más tarde explico el efecto denominado inducción electromagnética, abriendo la posibilidad de generar corriente eléctrica a partir de la energía mecánica.

Poco tiempo después en 1881, el inventor norteamericano Thomas Alva Edison produjo la primera lámpara de corriente directa, siendo esta no muy exitosa debido a la gran pérdida de energía eléctrica en los conductores.

A principios del año 1882 la compañía de Edison instaló la primera planta suministradora de electricidad, esta planta utilizó el dínamo de Edison proporcionando así, energía eléctrica. En septiembre del mismo año, Edison instaló el primer sistema eléctrico que contaba con 6 generadores de CD impulsados por máquinas de vapor con una potencia total de 30 kW para vender energía para iluminación, en New York.

Poco tiempo después, en 1881, este inventor norteamericano produjo la primera lámpara incandescente, siendo que la mayor investigación se había realizado en acumuladores y generadores eléctricos en corriente continua, con esta tecnología se impulsó la distribución de energía eléctrica. Un año después en Alemania se realizó la primera línea de distribución, con una distancia de 57 km en un nivel de 2 kV.

Nikola Tesla descubrió el principio del campo magnético rotatorio en febrero de 1882 concepto que necesitaba para construir un motor de corriente alterna AC. Entendiendo este concepto desarrolló diseños de dínamos con dos circuitos, es decir, con dos fases y además logró desarrollar un generador de hasta 6 fases. Con sus estudios Tesla se convenció de las ventajas de la corriente alterna sobre la corriente directa.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.

1.1. HISTORIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.

La electrificación en México fue un proceso acelerado porque Porfirio Díaz apostaba por el progreso. Se habla de la leyenda negra del Porfiriato, advierte la investigadora, pero “tenemos que asumir que hubo partes positivas, y ésta fue una de ellas. México era uno de los países más electrificados del mundo, estábamos casi a la vanguardia. En 1905 se inauguró la primera parte de la presa hidroeléctrica de Necaxa, que era la más grande del mundo, y competía sólo con una que había en Búfalo EU., que aprovechaba las Cataratas del Niágara para generar electricidad” (Milenio).

A finales del siglo XIX surgió la industria eléctrica en nuestro país en manos de empresarios extranjeros y nacionales con empresas como la *Mexican Gas and Electric Light Company Ltd* y la *Mexican Light and Power Company*, así como la Compañía Explotadora de las Fuerzas Hidroeléctricas de San Idelfonso S.A., del Lic. Ernesto Pugibet.

En 1879 Se instala un generador en la fábrica “La Americana” en León Guanajuato. Y en 1890 se construye la primera Hidroeléctrica en Batopilas Chihuahua.

En su primera etapa surgen más empresas e inicia la construcción de infraestructura a principios del siglo XX, donde destaca la obra hidráulica en Necaxa que incluye la construcción de un vaso cuyas aguas inundarán el poblado de ese nombre.

Sus habitantes deben trasladarse a un terreno desmontado ex profeso por Mex-Light, Canaditas. Algunos se niegan e interviene el ejército.

En 1911 se crea la Liga Mexicana de Electricistas y en 1914 se constituye el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME).

En 1936 el SME estalla su segunda gran huelga contra Mex - Light; a consecuencia de esta empresa y sindicato firmarán uno de los contratos colectivos

más avanzados de la época. El siguiente año se constituye la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Para 1960 el gobierno comienza a comprar a las empresas que tenían a su cargo el suministro de la energía eléctrica.

El gobierno adquirió *The Mexican Light and Power Co.*, y la *American and Foreign Power Co.* creando la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz que contaba con 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo.

El presidente Adolfo López Mateos envió al senado el proyecto de reforma al Artículo 27 constitucional, el cual fue aprobado y publicado en el Diario Oficial el 23 de diciembre de 1960, quedando a partir de ese momento, consumada jurídica y financieramente la nacionalización de la industria eléctrica.

En 1963 se modificó la denominación social a Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. y para 1974 iniciaría su liquidación.

Para el año de 1985 LyF y CFE delimitan sus zonas donde LyF pierde el %50 de su extensión original, las zonas de Michoacán y Guerrero pasan a ser parte de CFE.

En 1994 un decreto presidencial descentraliza la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, quedando como Luz y Fuerza del Centro con personalidad jurídica y patrimonio propio.

En 2003 entra en operación Teotihuacán, la quinta subestación que forman al anillo de 400 kV de la zona metropolitana.

El sábado 10 de Octubre por medio de un decreto presidencial son ocupadas las instalaciones de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro por la policía federal, se decide extinguir a la compañía y liquidar a sus trabajadores.

En marzo del 2010, CFE dio contratos a 5 empresas de trabajadores liquidados de la ex LyF del grupo de Alejandro Muñoz, se pretende dar trabajo a puros ex empleados de la extinta empresa.

Para el 2014 se publica el Decreto de la reforma energética donde.

Art. 25: El sector público tendrá la exclusiva de las estrategias que señalan el artículo 28 manteniendo el gobierno la propiedad y el control sobre los organismos y empresas productivas del Estado. Tratándose de la planeación y control del sistema eléctrico nacional y del servicio de transmisión y distribución de energía eléctrica, la Nación llevara a cabo dichas actividades en lo dispuesto de los párrafos sexto y séptimo del Art. 27. Las actividades citadas establecerán las normas relativas a la administración, organización, funcionamiento, procedimientos de contratación y actos jurídicos que celebraran las empresas del Estado, así como el régimen de remuneraciones de su personal para garantizar su eficacia, eficiencia, honestidad, productividad, transparencia y rendición de cuentas.

Bajo criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad se apoyara e impulsara a las empresas de los sectores social y privado de la economía cuidando su conservación y medio ambiente.

La ley alentara y protegerá la actividad económica que realicen los particulares y proveerá de las condiciones para el desenvolvimiento del sector privado que contribuya al desarrollo económico nacional.

Art. 27: Corresponde a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgaran concesiones sin perjuicio de que el estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que se establezcan las leyes, se determina la forma en que particulares podrán participar en otras actividades de la industria eléctrica.

Art. 28: No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva. La planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Para el octavo transitorio: Derivado de su carácter las actividades de exploración y extracción del petróleo y los demás hidrocarburos, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, se considera social y de interés público, por lo que tendrán preferencia sobre cualquier otra que implique el aprovechamiento de la superficie y del subsuelo de los terrenos afectos a ellas.

En el Décimo inciso C: En materia de electricidad, la regulación y el otorgamiento de permisos para la generación así como las tarifas de porteo para la transmisión y distribución.

En el Décimo primero: El congreso de la unión realizara las adecuaciones al marco jurídico a fin de regular las modalidades de contratación para que los particulares, por cuenta de la Nación, lleven a cabo, el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.

En el Décimo sexto: A más tardar en 12 meses se crea el centro nacional de control de energía como organismo público descentralizado para operar el mercado eléctrico Nacional y mayorista, con esto la CFE proveerá los recursos que el centro de control requiera para el cumplimiento de sus facultades, este a su vez dará el apoyo necesario para que continúen operando las redes del servicio público de transmisión y distribución en condiciones de continuidad, eficiencia y seguridad.

En el Décimo séptimo: En materia de electricidad, la ley establecerá a los participantes de la industria eléctrica obligaciones de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

2.1. DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.

Un Sistema Eléctrico de Potencia está compuesto por plantas generadoras, una red de transmisión y una red de distribución que se encarga de llevar la energía eléctrica a los puntos de consumo. A su vez, un sistema de distribución está compuesto por subestaciones reductoras y dispositivos eléctricos destinados a suministrar la energía eléctrica demandada por los consumidores. Debido a lo anterior, la distribución queda determinada por la capacidad de energía demandada por el usuario, que puede ser suministrada con líneas de Alta, Media y Baja tensión.

La **Red de Distribución de la Energía Eléctrica** o **Sistema de Distribución de Energía Eléctrica** es un subsistema del Sistema Eléctrico de Potencia cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

La distribución de la energía eléctrica desde las Subestaciones de transformación de la red eléctrica se realiza en dos etapas.

La primera está constituida por la red de reparto, que comprende en un sistema de Transmisión y Subtransmisión, que partiendo de las subestaciones de transformación, suministra la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo (230 – 400 kV), hasta llegar a las estaciones transformadoras de Subtransmisión (115 – 230 kV). Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, que son las encargadas de reducir la Tensión desde el nivel de reparto como lo son las industrias comercios y el uso doméstico.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 1 a 34.5 kV y con una característica radial. Esta

red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (127/220 o 440/254 V).

La topología de una red de distribución se refiere al esquema o arreglo de la distribución, esto es la forma en que se distribuye la energía por medio de la disposición de los segmentos de los circuitos de distribución. En este sentido se enfoca a la forma como se distribuye la energía a partir de la fuente de suministro.

Los Sistemas de Distribución, por tanto, tienen como función principal de suministrar la energía eléctrica necesaria a los consumidores, y pueden ser aéreos o subterráneos. Debido a su bajo costo y facilidad de instalación, los sistemas aéreos son los más utilizados, aunque los sistemas subterráneos proporcionan mayor confiabilidad en el servicio, dado que están menos expuestos, y se encuentra en expansión en toda la república especialmente en las grandes ciudades como Ciudad de México (D.F.), Guadalajara, Monterrey, Veracruz y en zonas de desarrollo turístico.

2.2. CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.

Los sistemas de distribución se clasifican en Media Tensión y Baja Tensión este trabajo se enfocara únicamente en la red de Media Tensión; así como, sus estructuras.

En los sistemas de distribución subterráneos los problemas de instalación, conexión y protección tanto de los conductores como del equipo son más complejos en comparación de los sistemas aéreos. Por esta razón existen diseños especiales para muchos de los dispositivos empleados. Dada su operación,

existen dos tipos de sistemas para el reparto de la distribución subterránea: radial y paralelo.

2.3. CLASIFICACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS Y SU OPERACIÓN.

2.3.1. OPERACIÓN RADIAL.

Es aquel en el que el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente de energía a la carga, de tal forma que una falla en esta operación produce una interrupción en el servicio. En este tipo de sistema la potencia principal se envía a un punto central, y desde ahí se divide en circuitos con ramificaciones en serie para suministrar servicios a clientes individuales.

Este sistema en servicio de energía eléctrica es probablemente el más antiguo y comúnmente usado en la distribución de energía eléctrica, debido a su bajo costo y sencillez de operación y protección.

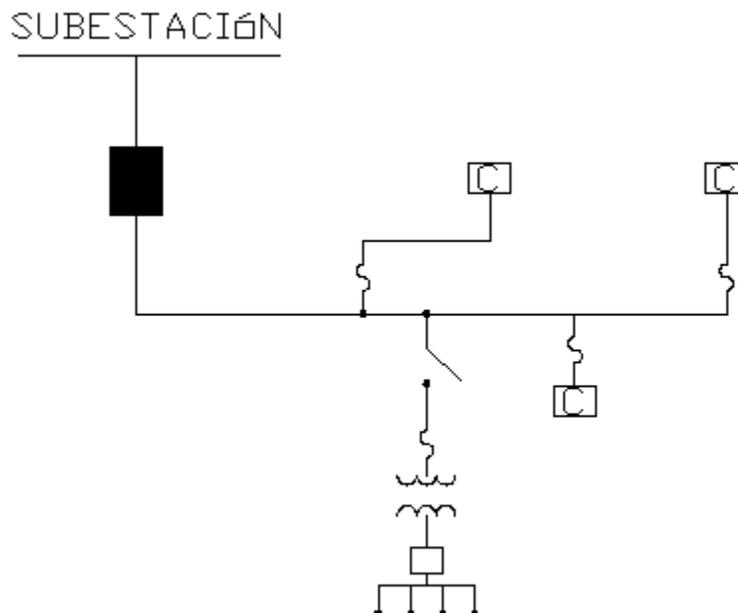


Fig. 2.1. Operación Radial.

2.3.2. OPERACIÓN EN PARALELO.

También conocido como red automática o red mallada, es precisamente una rejilla en paralelo, donde el flujo de energía se divide entre varios elementos, teniendo más de una trayectoria; dada su confiabilidad se ha convertido en el estándar para los sistemas de distribución subterráneos donde existe una densidad elevada de carga. Esta estructura se encuentra en operación en las grandes ciudades del mundo como lo es Nueva York, Paris, Londres. En este tipo de operación en las redes de baja tensión, es una estructura sencilla, en la red primaria donde las subestaciones están conectadas en una derivación radial. Debido a su configuración de paralelismo, la continuidad en el servicio en la red de Baja Tensión está asegurada, la eliminación de fallas en los cables de la red se hace por auto-extinción o con fusibles limitadores. En este caso el servicio del cliente no sufre falta de energía con una falla tanto de Media Tensión o Baja Tensión. Pensar en una estructura de este tipo para Ciudad Universitaria no es económicamente factible.

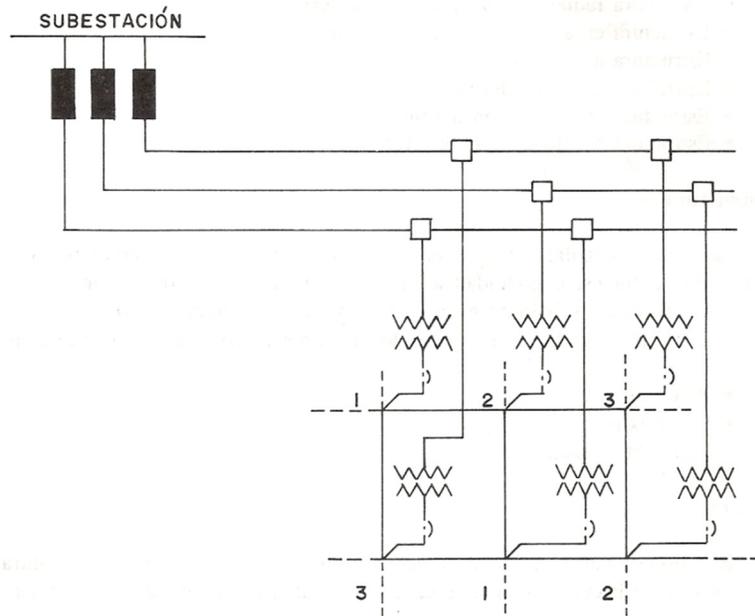


Fig.2.2. Operación Paralelo.

2.4. ESTRUCTURAS EN MEDIA TENSIÓN EN REDES SUBTERRÁNEAS.

Para Media Tensión se emplean actualmente varios tipos estructuras para el sistema de distribución.

Radial:

Esta es la más usada, aunque su continuidad se encuentra limitada a una sola fuente, pero su sencillez de operación y bajo costo la hacen muy útil.

Se clasifica como:

Red aérea.

Red subterránea.

Red Mixta

Se usa en zonas urbanas con:

Carga residencial, comercial, industrial.

Zonas rurales como:

Carga doméstica, pequeña industria (bombas de agua, molinos, iluminación, etc.)

2.4.1. ANILLO ABIERTO.

Este tipo se constituye a base de bucles de igual sección, derivados de las subestaciones fuentes ya que estas operan abiertas en un punto medio en general. Cuando llega a ocurrir una falla se secciona la parte dañada para poder reparar la carga en el troncal o alimentador.

Esta estructura se recomienda para las zonas donde la carga se encuentra entre 5 y 15 MVA/ km² y no hay aumento de carga o es nulo y se realizan trabajos para modificar la configuración en la red.

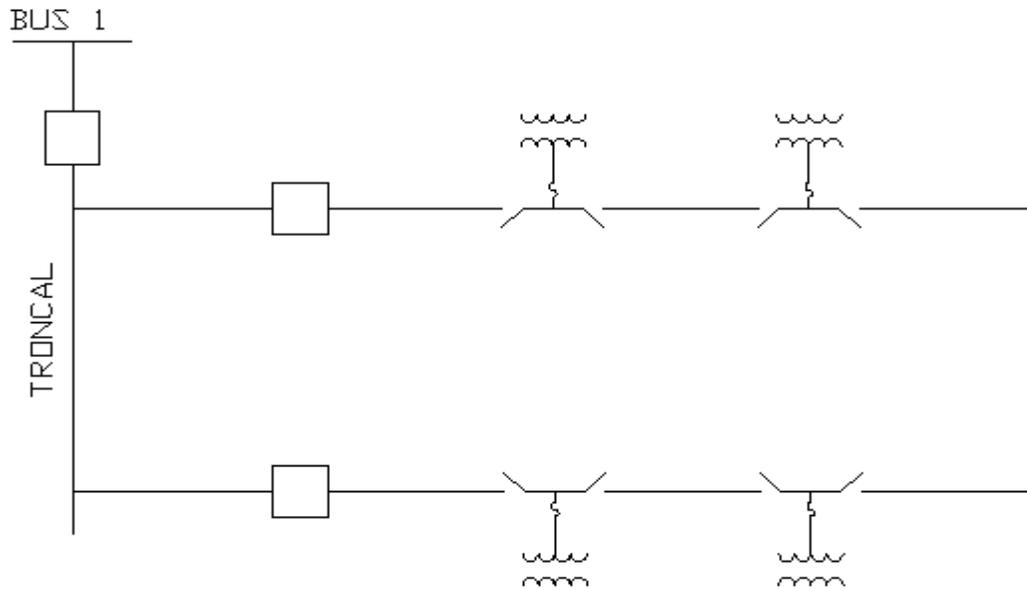


Fig.2.3. Anillo abierto 1 alimentador.

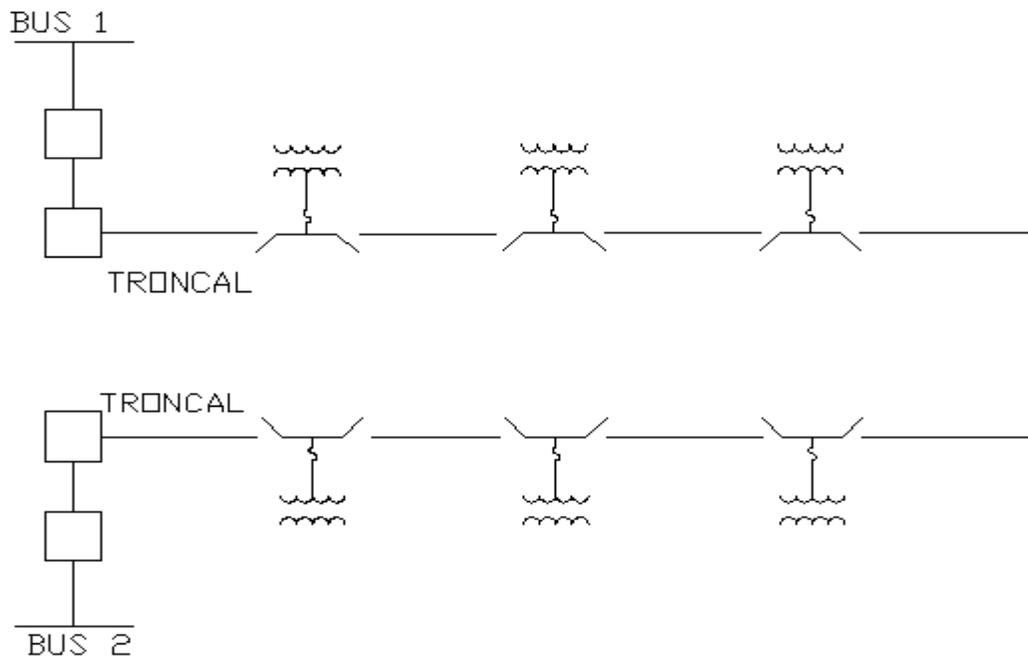


Fig.2.4. Anillo abierto 2 alimentadores.

2.4.2. ANILLO CERRADO.

En éste tipo la variación consiste en que no hay un punto normalmente abierto, tiene una gran aplicación para las zonas amplias; se puede desarrollar en las subterráneas por su capacidad de incrementar la capacidad instalada sin afectar su estructura fundamental en la red. La operación de esta red es más complicada que la anterior por el tipo de protección, pero su confiabilidad aumenta en forma considerable.

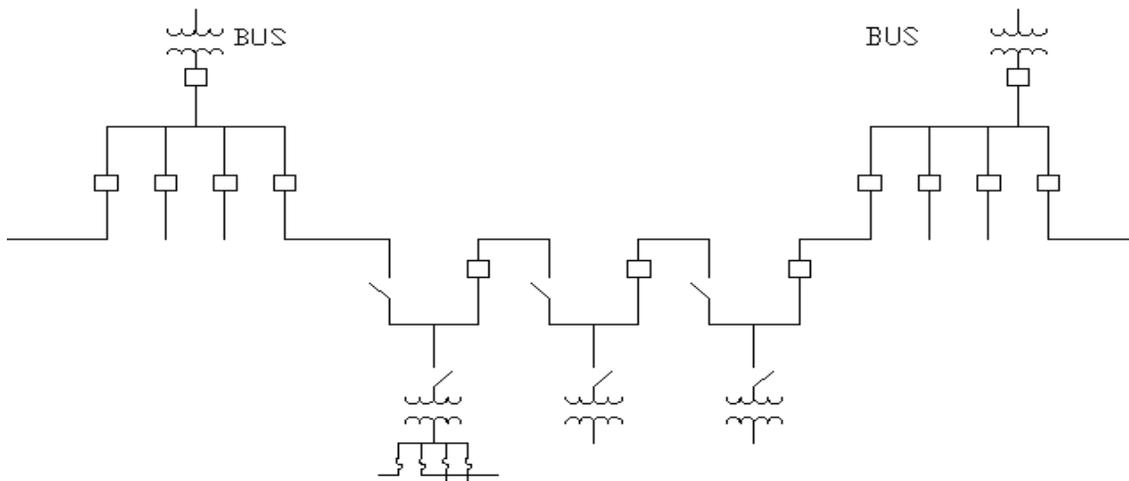


FIG.2.5. Anillo cerrado.

2.4.3. EN MALLA.

En esta las subestaciones de distribución se encuentran conectadas en un seccionamiento y junto al cable constituyen anillos de igual sección. Estos operan de forma radial, en la subestación que está a la mitad de un seccionamiento, interruptor, o cuchillas y existe una alimentación de emergencia. En un incidente, las maniobras se realizan en grupos para las subestaciones, por lo cual capacidad de la malla corresponde a la del cable.

Es recomendable para zonas de un crecimiento acelerado y de cargas no puntuales, debido a sus características de posibilidad de expansión y el reparto de la carga. Su aplicación se recomienda para zonas comerciales importantes y con las densidades arriba de los 20 MVA/km².

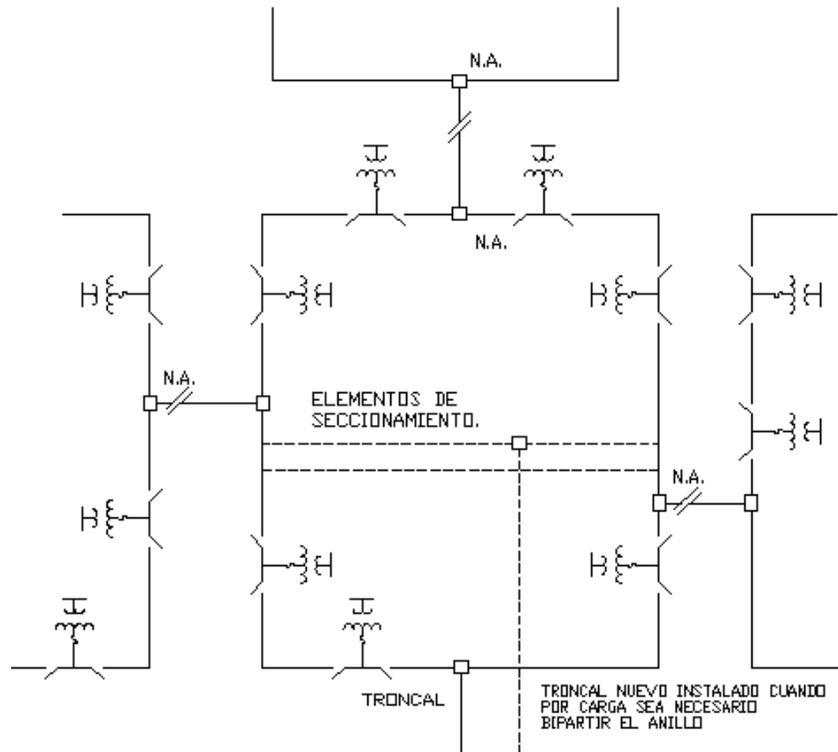


Fig.2.6. Malla.

2.4.4. EN DOBLE DERIVACIÓN.

Para este caso la estructura se hace por pares, siendo secciones uniformes para los cables troncales y menores para derivaciones de la subestación y servicios los cuales quedan alimentados en derivación. Es conveniente usarlas en zonas concentradas de carga y que van del orden de 5 a 15 MVA/km².

Un ejemplo de esta aplicación sería para zonas industriales, comerciales, o turísticas de configuración extendida. Para su operación se usan esquemas de alimentadores tanto Preferente y Emergente con transferencias manuales o automáticas, siguiendo el principio de cambio de alimentación. Para poder hacer su análisis se realiza de dos formas:

- a) Haciendo trabajar el alimentador emergente sin carga.
- b) Con la mitad de toda la carga total.

Con la diferencia de que la primera sólo se energiza al mínimo uno y el otro al máximo de su capacidad, y para la segunda se realiza trabajando al mismo nivel.

Para este diseño se cuenta con 2 redes importantes.

1. El equipo de transferencia debe tener un mecanismo que impida la operación en paralelo de los 2 alimentadores.
2. para obtener una mayor confiabilidad del servicio es conveniente instalar en rutas diferentes los circuitos.

Un ejemplo de esta estructura se construyó en México y que fue desarrollada por Luz y Fuerza del Centro para el servicio de Transporte Colectivo Metro.

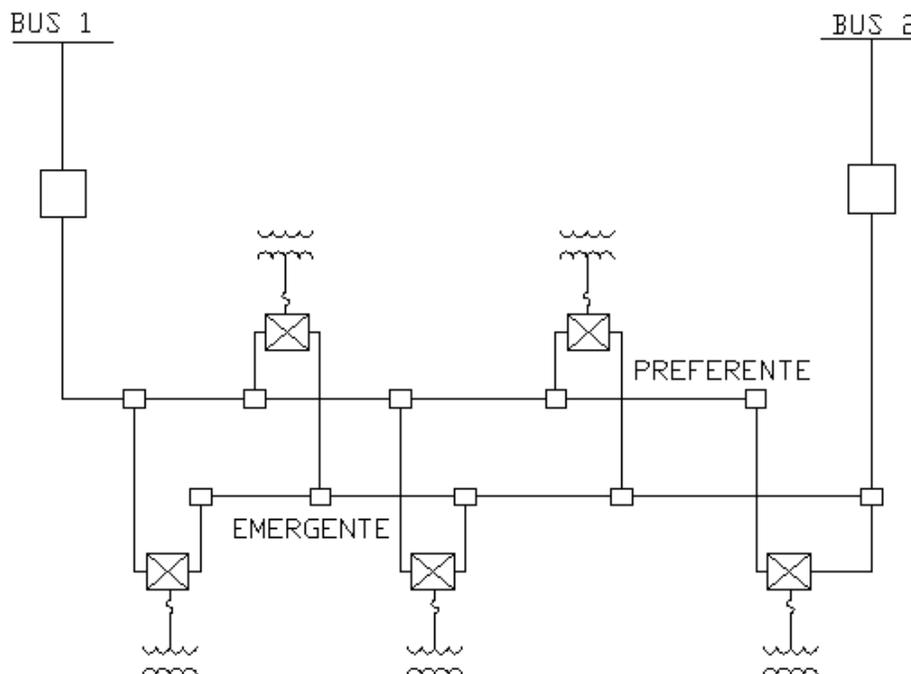


Fig.2.7. Doble derivación.

2.4.5. DERIVACIÓN MÚLTIPLE.

Siguiendo el mismo principio de la estructura anterior, se permite alimentar una mayor área debido a la incrementación de los alimentadores en la red. Para el diseño se deja un margen de reserva en la capacidad de los alimentadores, ya que al quedar fuera uno de ellos la carga se repartirá en los restantes por medio de una transferencia automática.

La aplicación de esta red se usa para la aplicación de zonas con una carga concentrada muy fuerte, en las que permiten proporcionar una alta continuidad a los servicios y tiene la ventaja de proporcionar servicio tanto en Baja Tensión como en Media Tensión.

Es recomendada para zonas con grandes concentraciones de carga y arriba de 30 MVA/km².

Cabe mencionar que este diseño surgió en Luz y Fuerza en los años ochenta y en la actualidad se aplica en todas las redes subterráneas urbanas en construcción de la Cd. de México. La Red Polanco y Santa Fe son ejemplo de este tipo de redes subterráneas.

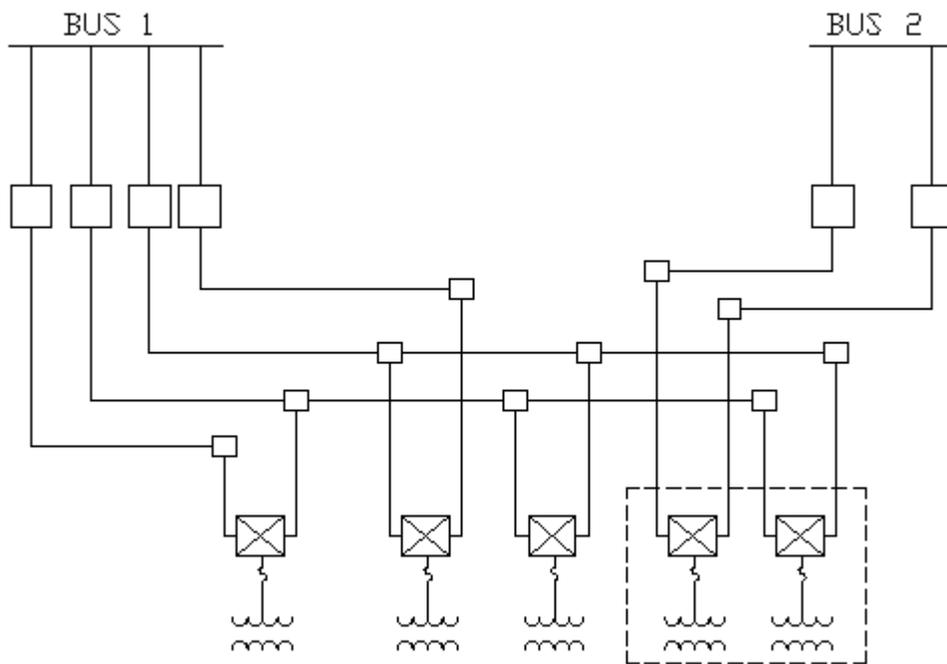


Fig.2.7. Derivación múltiple.

2.4.6. ALIMENTADORES SELECTIVOS.

Está constituida por cables troncales que salen preferentemente de subestaciones diferentes hasta alimentar la zona; de estos troncales se derivan ramales de menor sección que van de un troncal a otra enlazándolas con el principio de la doble alimentación, las subestaciones y los transformadores se reparten en parejas de alimentadores troncales que se conectan en seccionamiento.

La protección para esta red consiste en interruptores que se instalan en la subestación de potencia a la salida de cada alimentador troncal y fusibles tipo limitador de corriente para proteger al transformador y dar mayor flexibilidad a la operación. El número de interruptores en los troncales dependerá del estudio económico que se realice.

En las condiciones normales de la operación de las SE'S los subtroncales se alimentan en un punto abierto que permite balancear la carga entra ellas, cuando ocurre una falla, los seccionadores permiten alimentar el subtroncal transfiriendo la carga, se recomienda esta red para edificaciones con gran carga y con mayor confiabilidad y crecimiento con densidades mayores a 15 MVA/km².

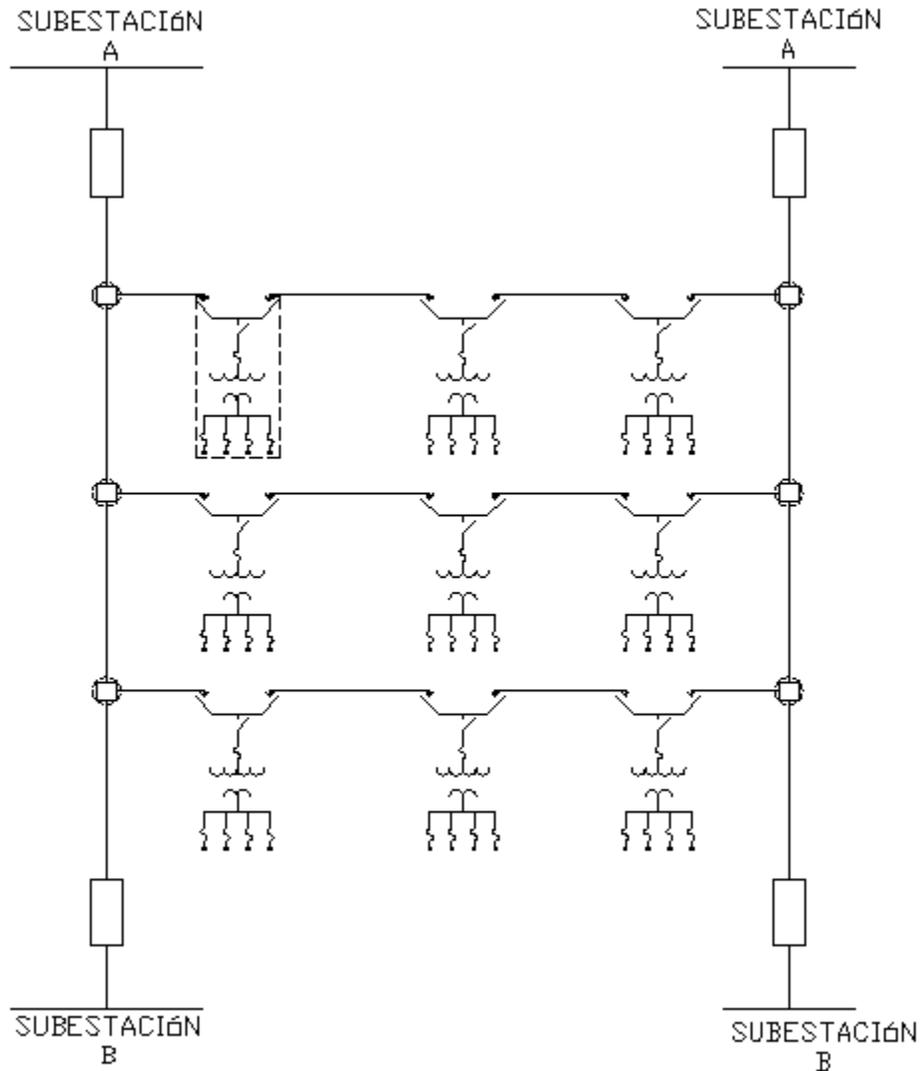


Fig.2.9. Alimentadores selectivos.

2.5. VENTAJAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.

Un sistema de distribución subterráneo presenta muchas ventajas frente a un sistema de distribución aéreo. Estos sistemas se utilizan principalmente en zonas urbanas que presentan grandes concentraciones de cargas, donde se justifica el costo de construcción debido a que son zonas turísticas como Acapulco, Cancún y Baja California Sur. El alto costo de construcción se debe principalmente a que puede transportar una menor cantidad de energía por unidad de sección de conductor debido a las limitantes térmicas impuestas por el aislamiento y por las

condiciones del terreno; además, de que es necesario construir obras civiles y equipo adecuado que resista operar en condiciones de humedad o totalmente sumergido en agua.

Estos sistemas presentan menos posibilidades de falla que los sistemas aéreos por la forma en que se encuentran contruidos, ya que no se encuentran directamente a fenómenos ajenos al sistema (lluvia, descargas atmosféricas, sismos, derrumbes, inundaciones, etc.) por tanto ofrecen mayor confiabilidad con un alto grado de continuidad.

Existen áreas urbanas donde se necesita preservar las bellezas de ciudades y zonas campestres por tanto se utilizan estos sistemas subterráneos que no interfieren con los paisajes. Un ejemplo de estos conceptos es Ciudad Universitaria. Incluso en zonas escasamente pobladas los circuitos de transporte de alta tensión se han colocado bajo tierra en zonas de una belleza natural relevante.

Otra ventaja importante es la capacidad instalada en una subestación, ya que es mucho mayor que la de un transformador de poste. Como la capacidad instalada es mucho mayor, se necesitan cables subterráneos de mayor calibre que conduzcan más corriente que los cables aéreos, además de que en estos casos las calles se aprovechan en ambas aceras sin problemas para las vías públicas. En grandes concentraciones industriales y habitacionales de nuestras grandes urbes son sumamente utilizados.

En la actualidad Ciudad Universitaria es el único centro educativo que cuenta con la red de distribución subterránea más grande e importante del país.

2.6. ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES.

Los Sistemas de Distribución Subterráneos pueden adoptar distintas topologías. La estructura que se utilice en media o baja tensión, depende de algunos parámetros que intervienen en la planeación de la misma, tales como:

- ❖ Densidad de carga.
- ❖ Costo de la instalación.
- ❖ Grado de confiabilidad.
- ❖ Facilidad de operación.
- ❖ Seguridad.
- ❖ Estética.

Características de diseño.

Las redes subterráneas han demostrado su eficiencia en comparación con las redes de distribución aéreas, por lo cual su uso se ha extendido en las zonas urbanas de alta densidad de carga. Dichas ventajas son la confiabilidad del servicio y la limpieza de las instalaciones que se traduce en estética para el medio. Una desventaja notable es que el costo de las instalaciones se incrementa, además de que el personal encargado de construir y operar estas redes debe estar mucho más especializado. Los objetivos principales que se pretende alcanzar en el equipo empleado en el diseño de sistemas de distribución subterráneos, son los siguientes:

❖ **Confiabilidad:** Las redes subterráneas sirven típicamente a áreas de alta densidad de carga. Como resultado, una falla sin controlar en un área podría afectar el servicio a varios clientes.

❖ **Instalación:** Trabajando en redes subterráneas significará trabajar en espacios confinados, tales como bocas de acceso, cuartos y bóvedas para transformadores. Los dispositivos creados para ser usados en redes de distribución deben ser simples de instalar con requerimientos mínimos de espacio.

❖ **Economía:** Minimizando las complicaciones de la instalación y maximizando su confiabilidad, los dispositivos usados para sistemas subterráneos se vuelven económicos.

❖ **Versatilidad:** Las redes de distribución cambian y se expanden continuamente, por tanto, los dispositivos usados deben permitir una fácil adaptación a la red para necesidades actuales y futuras.

❖ **Seguridad:** La seguridad en el diseño incluye el suministro de tolerancias de diseño, hacer la instalación fácil y libre de errores y permitiendo su operación bajo condiciones no ideales.

Equipo de un sistema de distribución subterráneo.

En un sistema de distribución eléctrico hay un conjunto de dispositivos, máquinas, instrumentos y circuitos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, que tiene la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, tensión y corriente, además de proveer un medio de interconexión que permite el suministro de energía al sistema y las líneas de transmisión existentes.

Este conjunto se le llama Subestaciones eléctricas que se pueden clasificar de acuerdo a su Tensión nominal, su instalación o su construcción.

Los dispositivos instalados van acorde a sus especificaciones.

CAPÍTULO 3. CAMBIO DE TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

En este capítulo se describen las SG1 y SG2 de la red de distribución del campus de CU que suministrarán energía a los de Anillos abiertos del sistema, ya sea que en caso de falla, los servicios puedan ser reparados más rápido. Las principales fuentes de alimentación son las Subestación General 1 que se encuentra ubicada a un costado de la Facultad de Psicología y la Subestación General 2 frente a la Escuela de Trabajo Social que se encontraban a una tensión de 6 kV.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTE Y ESTADO FÍSICO.

En Ciudad Universitaria existen actualmente Subestaciones Derivadas con equipado muy obsoleto y fuera de norma que en su momento fue muy útil para el servicio eléctrico, pero la tecnología ha avanzado no sólo para la optimización, sino también, para la seguridad del personal que la opera y el ahorro y conservación del medio ambiente.

3.1.1. TRANSFORMADORES.

Para la subestación general 1 donde se tienen 2 transformadores de 7.5 MVA/9.37 23 / 6.6 kV, uno se encuentra en operación y el otro de reserva en caso de falla o de mantenimiento.



Para la General 2, hay 2 transformadores de 5 / 6.25 MVA, 23 / 6.6 kV, de igual forma uno se encuentra en operación y el otro en reserva para falla o mantenimiento.



3.1.2. SUBESTACIONES DERIVADAS.

Para el campus existen varios tipos de transformadores instalados en la Subestaciones eléctricas derivadas, como son de tipo subestación, poste, pedestal y secos en 6 kV (Voltaje fuera de Norma) algunos con grandes dimensiones ocupando espacios considerables, con materiales peligrosos y en mal estado. Las capacidades a las que se encuentran algunos no son las adecuadas ya que hay unos que están en el límite u operando con poca carga.

Las condiciones e instalaciones de los cuartos son muy antiguos y obsoletos, la limpieza no es la adecuada y fuera de Norma, muchas se ocupan como bodegas donde se encuentra equipo de cómputo, mobiliario e inclusive herramienta para la limpieza, así como sustancias químicas. Su señalización no es la adecuada y a veces su entrada se encuentra obstruida o es de difícil acceso como son en pasillos, callejones o en zonas de oficina.

Hay en algunos equipos en buen estado, pero no se encuentran aterrizados o no cuentan con las placas de datos correspondientes para su correcta identificación, con fugas de aceite y pocas cuentan con equipo de seguridad apropiado. Las refacciones ya no las fabrican y por lo tanto en caso de una falla se tendrían que mandar especiales lo que ocasiona que su costo sea mayor por estar fuera del mercado.

Con el sistema de 6 kV se tenían instaladas cerca de 140 Subestaciones Derivadas en todos los Anillos que abastecen las Generales 1 y 2, y el Estadio Olímpico.

3.1.3. EQUIPO DE SECCIONAMIENTO.

El equipo ya es muy obsoleto y algunos se encuentran en los pozos que en ocasiones se inundan y su operación no puede ser la adecuada y muy peligrosa. Se pueden presentar fugas del material aislante de sus terminales de aceite flamable.

Debido a la corrosión que se presenta en la parte externa requiere de más mantenimiento, sus estructuras no están a tierra y en ocasiones presentan oxidación.

Por su mala identificación hay problemas con el mantenimiento y las libranzas ya que algunas señalizaciones fueron hechas a mano con marcador, es importante hacer una correcta y segura identificación de las terminales para poder evitar problemas de operación.

Como su alimentación es Radial hay equipos que derivan varios circuitos lo cual ocasiona que en un momento de falla se quede sin energía eléctrica gran número de dependencias.

Se colocaron chimeneas en los pozos donde se encuentran pero ya están en malas condiciones, estas fueron construidas para poder dar ventilación debido al calor que generan los equipos.



3.1.4. EQUIPO DE PROTECCIÓN.

Corta circuitos en aceite con fusibles en pequeño volumen de aceite mejor conocidos como trompos. Estos se encuentran generalmente en zonas donde se reparte la alimentación de la Red.



3.1.5. CONDUCTORES.

Los conductores como bien sabemos tienen un papel muy importante en el área eléctrica por eso es indispensable mantenerlos en buen estado.

Los cables actualmente instalados, conductores son ya muy viejos y fuera de Norma, como son los impregnados en aceite (el cual ya no se ocupa por las nuevas tecnologías de aislamiento y cubiertas de polímeros) aislados pero en condiciones de humedad por los pozos, de todo tipo, ya sea Tripolar o Monopolar e incluso de distintos calibres en varios puntos de la Red Eléctrica dentro del Campus Universitario.

Para la primera parte de la Red que contaba con 3 anillos se usó cable Tripolar con aislamiento en papel impregnado en aceite de 250 kCM, los cuales alimentaban 37 subestaciones entre facultades y edificios administrativos; así como, el Estadio Olímpico.



Debido al crecimiento y para la segunda subestación general construida en el campus de CU se utilizaron cables Monopolares con aislamiento EPR de 3 x 350 kCM los cuales alimentaban a 12 Subestaciones nuevas por el crecimiento en la universidad.

3.1.6. DUCTOS Y POZOS.

Las condiciones en las que se encuentran ya son muy desfavorables, fueron contruidos de concreto y a pesar de verse bien en apariencia complica su mantenimiento ya que sus tapas son de concreto y la base de fierro, lo que

ocasiona que con el tiempo si no se revisan la humedad inicia a corroer el metal y en ocasiones no pueden abrirse fácilmente. En algunas veces se llenan de basura que algunos individuos arrojan basura sin saber el daño que ocasionan.

Los ductos con los que se encuentran instalados en esta Red son de distintos materiales como son el PVC, pero hay encofrados y su mayoría es asbesto de cemento con un diámetro de 4”.



CAPÍTULO 4. PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

En este capítulo se explica y se describen características y fundamentos de los transformadores, una parte importante del equipo eléctrico para la distribución y abastecimiento de la energía eléctrica, se muestran en particular los de la red eléctrica de 6 kV y de la nueva en 23 kV, algunos cálculos para poder determinar las pérdidas existentes en este equipo eléctrico. Las ventajas que lleva este cambio de tensión al realizar este cambio.

En un sistema eléctrico para la conducción de la energía eléctrica un elemento fundamental es el transformador, ya sea para la transmisión y distribución en este capítulo hablaremos parte de su funcionamiento y aplicación para la red de distribución y el reparto de la energía eléctrica, así como, su uso en la Red Eléctrica diseñada por la Facultad de Ingeniería para el campus de la Ciudad Universitaria. Se describe como se encontraba el sistema de 6 kV y como está quedando el nuevo en 23 Kv.

El transformador fue descubierto por Gaulard y Gibbs para el transporte de la energía a grandes distancias. En la actualidad este nos ha servido para economizar y poder tener un sistema con una buena calidad de energía.

El uso de la corriente alterna para este sistema fue de mayor uso, ya que se puede elevar la tensión con mayor eficiencia y transmitirla a lugares muy lejanos y poder interconectar a otras ciudades y tener un sistema eléctrico nacional como actualmente cuenta el país.

4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS.

El principio del funcionamiento del transformador es la inducción electromagnética, la cual fue descubierta por el físico Michael Faraday en 1831, con lo que se demostró que todo flujo que atraviesa por una espira de alambre conductor

inducirá un voltaje proporcional al cambio del flujo con respecto al tiempo, esto se explica por medio de la siguiente ecuación:

$$e_{\text{ind}} = -\frac{d\phi}{dt}. \quad (1)$$

Donde e_{ind} es la tensión producida en la espira y Φ es el flujo que atraviesa la espira y si esta tiene N vueltas y el mismo flujo circula por todas entonces el voltaje inducido en toda la bobina se expresa como:

$$e_{\text{ind}} = -N \frac{d\phi}{dt}. \quad (2)$$

Donde e_{ind} = voltaje inducido en la bobina.

N = número de vueltas de alambre en la bobina.

Φ = flujo que circula en la bobina.

El signo menos (-) es tomado de la ley que propuso el Dr. Lenz para poder determinar el voltaje inducido en la bobina que se encuentra en corto circuito, la cual producirá una corriente que genera un flujo opuesto al del cambio inicial. Dado que este flujo se opone al que lo origina se pone el signo contrario o menos (-). Esta ley es una de las propiedades importantes de los campos magnéticos que se usan en el diseño de los transformadores y la ley de Lenz se usa para poder determinar la polaridad de los voltajes en los devanados del transformador.

La ley de Faraday es una propiedad de los campos magnéticos para el funcionamiento del transformador.

Un transformador es aquel dispositivo con el cual podemos cambiar la potencia eléctrica alterna de un nivel de tensión a otro mediante la acción de un campo magnético, en corriente alterna, la potencia a la entrada es igual a la de la salida (esto es un transformador ideal el cual no tiene pérdidas).

Se construye de 2 bobinas de alambre que se enrollan alrededor de un núcleo ferromagnético común, estas no se encuentran conectadas en forma directa. Si al colocar las 2 bobinas eléctricamente aisladas, acopladas magnéticamente en

una forma tal que el flujo variable en el tiempo producido por una de ellas ocasione una fuerza electromotriz (FEM) que se inducirá en la otra, se dice que constituye un transformador. Más bien dicho el transformador tiene acopladas las bobinas magnéticamente, para que sea mayor se tienen que devanar en un núcleo en común, si este se realiza de un material no magnético se le conoce como **“transformador con núcleo de aire”** y cuando se construye con un material ferromagnético se la llama **“transformador con núcleo de hierro”**.

4.1.1. TRANSFORMADOR IDEAL.

Un transformador que carece de pérdidas y sigue sus planteamientos es ideal.

Para un mejor diseño y construcción de un transformador se toma como base un análisis ideal aunque en la realidad no sucede pero sólo se hace para poder simplificar o dar una mejor solución al problema del circuito eléctrico.

Para que se pueda tener una mayor eficiencia en la operación del transformador, se requiere que las pérdidas sean nulas o menores y esto sólo se logra con un transformador ideal aunque se usa su diseño y su análisis para la construcción de los reales. Se construyen con un núcleo de un material no saturable y con una permeabilidad magnética considerada mayor que los ferromagnéticos conocidos. Esto hace que todo el flujo que hay en las bobinas se encuentre dentro del núcleo, y que la corriente de excitación sea tan pequeña y despreciable que incluso no se detecte. Por otro lado las bobinas se construyen con un material de poca resistividad, que no requiere aislamiento y las espiras queden tan cerca entre sí en el menor espacio intermedio posible. Esto ocasiona un Voltaje aplicado igual a la fuerza electromotriz y que no genere flujo disperso entre las espiras.

- a) Todo el flujo que se crea en la bobina se puedan entrelazar con otra.
- b) La reluctancia para la trayectoria magnética sea baja.

La relación de los voltajes en cada uno de los devanados es:

$$\frac{v_p}{v_s} = \frac{n_p}{n_s} = a \quad (3)$$

Donde a es la relación de vueltas del transformador.

$$a = \frac{n_p}{n_s} \quad (4)$$

La relación de la corriente que entra (lado primario) con la que sale (lado secundario) del transformador es:

$$N_p i_p(t) = N_s i_s(t) \quad (5)$$

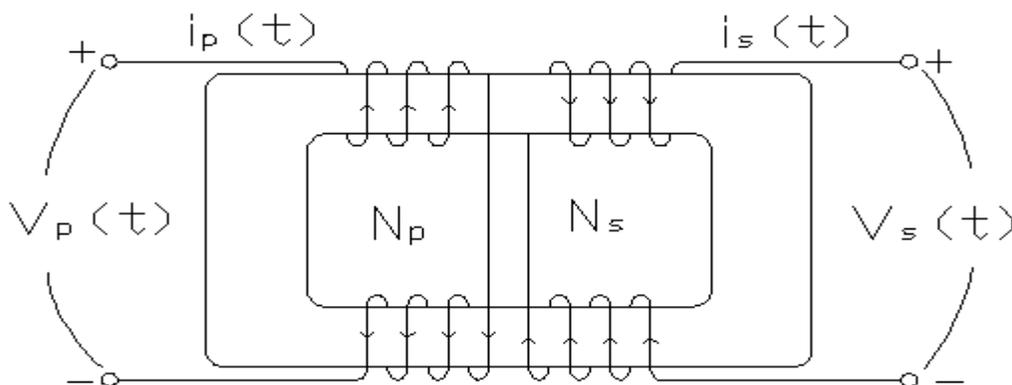
$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{a} \quad (6).$$

4.1.2. TRANSFORMADOR REAL.

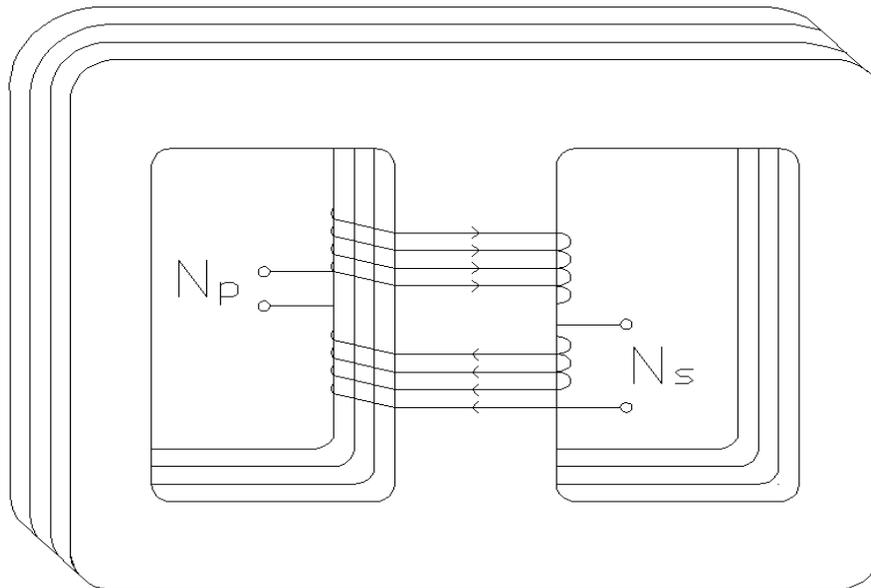
En este no se cumple con el rigor las relaciones, debido a los materiales que por su naturaleza no pueden efectuar la conversión y transmisión perfecta de energía y aparecen pérdidas que no se pueden evitar, aunque si es posible reducirlas a un valor mínimo.

Los transformadores se construyen de 2 tipos de diseño que son:

- Tipo núcleo. Forma rectangular de lámina de acero con los devanados enrollados en los extremos del rectángulo.
- Tipo acorazado. Para este caso se cuentan con 3 columnas de acero laminado en el núcleo y las bobinas se encuentran en la parte central.



Tipo núcleo.



Tipo acorazado.

Se utilizan láminas delgadas y aisladas para poder disminuir las pérdidas por las corrientes parásitas, las bobinas se hacen una sobre otra y la de voltaje de menor se localiza cerca del núcleo. Esto es para que no tener problema con el devanado de Alta Tensión y tener menor flujo disperso en caso de que los dos devanados estén separados del núcleo.

Como podemos observar el ángulo de fase V_p es el mismo ángulo V_s y el ángulo de fase I_p es el mismo ángulo de fase I_s , pero la relación de vueltas en este caso afecta a las magnitudes tanto del voltaje como de la corriente, pero no a sus ángulos.

¿Pero cómo podemos saber la polaridad del circuito primario y secundario en el transformador?

Dependiendo del uso en los sistemas eléctricos de potencia los transformadores reciben un nombre a su utilización, ya que en esencia es lo mismo.

- Transformador de unidad: se encuentra situado cerca de un generador para poder elevar la tensión hasta niveles de transmisión mayores a 35 kV. Estos suministran energía a las líneas de transmisión que van de la

planta de generación a un centro de almacenamiento a cierta distancia considerable, algunas características para este tipo de transformador son:

- No tiene devanados reguladores de voltaje, ya que este se regula por el campo del generador.
 - Carga uniforme; las unidades nuevas de alta eficiencia se mantienen a su máxima capacidad.
 - Necesitan alta eficiencia y funcionamiento no silencioso, la pérdida es más barata en una planta y hay equipos de mayor ruido que el transformador.
 - La construcción puede ser requerida del tipo de supervisión y conservación en la planta.
 - Transformador de subestación: se encuentra en un extremo de la línea de transmisión y se ocupa para reducir la tensión hasta 35 kV.
1. Para este tipo se requieren reguladores de voltaje.
 2. Las cargas varían dentro de los límites del día o año.
 3. Las pérdidas son mayores ya que se encuentra a largas distancias de la planta.
 4. Hay pocas facilidades para la supervisión y conservación.
- Transformador de distribución: este reduce la tensión a niveles en donde se conecta la carga para usos domésticos e industriales de 220, 440 V.

La potencia suministrada al transformador por el lado primario o a la entrada está dada por la ecuación

$$P_{in} i_p = V_p i_p \cos \theta_p$$

Donde θ_p es el ángulo entre el voltaje y la corriente. Y la potencia a la salida es

$$P_{out} = V_s i_s \cos \theta$$

Donde θ_s es el ángulo entre el voltaje y la corriente, para este caso el factor de potencia es el mismo porque sus ángulos no se afectan $\theta_p - \theta_s = \theta$

La relación del voltaje en un transformador es aplicado directamente a las bobinas del devanado primario, con la ley de Faraday mencionada anteriormente la cual explica el flujo que circula a través de la bobina.

$$\Phi = \frac{1}{N_p} \int v_p(t) dt$$

En los transformadores se clasifican de 2 maneras principales como son, de corriente y de potencia.

4.2. TIPO DE TRANSFORMADOR EN LA RED ELÉCTRICA DE CU (6 KV).

En el campus universitario tiene una extensa Red Eléctrica de Distribución donde en las Subestaciones Derivadas había transformadores de distintos tipos y capacidades en su mayoría de tipo subestación y también de tipo Pedestal, incluso algunos diseñados para 50 Hz y otros para 60 Hz.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES.

Los embobinados de mayor tensión (primarios) cuentan con los dispositivos de regulación.

ENCAPSULADO.

Las bobinas van encapsuladas en un baño de aceite, la tecnología empleada será la de llenado integral a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como, la reducción de las dimensiones del equipo y el mínimo de mantenimiento, además, contarán con un dispositivo de regulación de tensión.

BORNES DE CONEXIÓN

La parte de media tensión debe contar con barras de acoplamiento y bornes de conexión situados en las mismas. Los de baja tensión deben contar con zapatas como lo dice la norma. Las conexiones en caso de que sea necesario el lado

secundario o el asociado a este. La ubicación de la conexión y los símbolos serán:

Mirando de lado del primario de izquierda a derecha

1U-1V-1W

Del lado del secundario

2N-2U-2V-2W.

El neutro de baja tensión se debe de dimensionar del mismo calibre que la fase.

PLACA CARACTERÍSTICA DEL TRANSFORMADOR.

La placa debe ir instalada en un lugar fácil, visible, de acero inoxidable con los datos del producto como lo son: logo UNAM.

- a) Marca y tipo: que sean aprobados por la empresa.
- b) Condición de montura y gabinete: la base de concreto deberá estar de acuerdo a las normas y niveladas en piso firme para evitar una inclinación.
- c) Distancias de despeje: se consideran en el caso de las unidades seccionadoras.
- d) Conexión a neutro: De igual calibre que las fases.
- e) Terminal de cables: Igual que las unidades seccionadas.
- f) Capacidad del transformador: Será en kVA y se indicara en el plano.
- g) Indicador de fallas: Se deberá verificar que la instalación se haga correcta.
- h) Fusibles y cuchillas: se comprobara que estén de acuerdo al equipo y a su respectiva capacidad en amperes.
- i) Conexión de toma secundaria y servicio: se certificara que estén conectadas correctamente. En caso de usar un conductor de aluminio se utilizara un conector especial para el empalme de cobre y aluminio.
- j) Apartarrayos: se verificara que estén instalados correctamente y se indiquen los puntos de operación en los planos.
- k) Terminal: se verificara que estén tanto a la entrada como a las salidas terminadas en campana u otra terminal aprobada.

PLACA DE ACCESORIOS.

Se identificarán los conductores primarios y secundarios con una placa visible. Debe de haber una placa de señal de peligro donde se advierta de alto voltaje.

En CU la mayoría de los transformadores están dentro de los edificios, en accesos a nivel de piso.

Los propuestos van instalados en una base de concreto y trinchera para su alimentación.

Para su protección se utilizan apartarrayos y equipo de seccionamiento automático.

Tipo subestación.

Este tipo de transformador está diseñado para subestaciones que se encuentran en un espacio de tipo interior o en un cuarto especial para la subestación, donde se instalan los equipos necesarios para poder operar y alimentar a los edificios que se requieran suministrar energía eléctrica.



Tipo pedestal.

Este tipo está en zonas donde el espacio es muy reducido, ya que su diseño cuenta con facilidad para poder instalar el equipo a la intemperie y de lugares donde se requiera llegar con una acometida de tipo subterránea ya que su trinchera o pozo de registro lo permite, por lo general en las afueras de las dependencias, edificios y también se le conoce como tipo jardín.



4.3. PRUEBAS A TRANSFORMADORES.

Por la NMX-J-169.

Pruebas prototipo: son las aplicables a nuevos diseños, con el propósito de verificar si el producto cumple con lo especificado con las normas o por el usuario.

Pruebas de rutina: son pruebas que debe efectuar el fabricante en todos los transformadores de acuerdo con los métodos indicados en esta Norma, para verificar si la calidad del producto se mantiene dentro de lo establecido por norma o por el usuario.

Pruebas opcionales: son las establecidas entre el fabricante y usuario, con el objeto de verificar características especiales del producto.

Pruebas de aceptación: son aquellas pruebas establecidas en un contrato que demuestran al usuario que el producto cumple con las normas y especificaciones correspondientes.

Pruebas aplicables. En las normas de transformadores correspondientes, se listan las pruebas y los tipos de pruebas aplicables a los transformadores. El orden como se presentan, es una recomendación del orden como deben aplicarse las pruebas y puede ser modificado de común acuerdo entre el usuario y el fabricante.

Rigidez dieléctrica y la acidez.

Para medir la *resistencia de aislamiento* se mide la resistencia de los devanados entre alta y baja tensión, después alta y tierra, y por último entre baja y tierra.

El alambrado de control. Se comprueba la continuidad de los circuitos de control, protección, medición, señalización, sistema de enfriamiento, cambiador de derivaciones y transformador de instrumentos.

Relación de transformación. Para esta se determina que las bobinas estén fabricadas con el diseño y el número de vueltas exacto.

Polaridad. Para que su conexión sea adecuada.

Potencial aplicado. Verificar el aislamiento de los devanados con respecto a tierra. Consiste en aplicar el devanado que se prueba y los otros más tierra durante un minuto, la tensión de prueba a la frecuencia nominal sin que falle el aislamiento.

Potencial inducido. Para comprobar el aislamiento entre las espiras y secciones de los devanados. Para esta se induce en las terminales de un devanado, una tensión y frecuencia nominal al doble para que no se sature el núcleo. Si se llega a medir las descargas parciales se pueden detectar los puntos débiles en el aislamiento.

Corto circuito:

Esta prueba está diseñada para las resistencias del devanado y las reactancias de dispersión.

Como se realiza esta prueba. Colocando un devanado en cortocircuito y excitando el otro con una fuente de voltaje alterno a la frecuencia de especificación del transformador, el voltaje se debe ajustar de modo que cada devanado conduzca una corriente dada. Ya que esta última asegura la simulación del flujo de dispersión para cada devanado correspondiente. Como esta prueba restringe la

potencia de salida a cero, la de entrada es baja. Esto implica que el voltaje aplicado es una fracción pequeña del voltaje especificado. De esta manera se debe tener cuidado extremo al ejecutarse esta prueba. Por eso se recomienda realizarla en el lado de alto voltaje. Como la pérdida de núcleo es casi cero y la reactancia casi es infinita, y son muy pequeñas se pueden despreciar.

Por eficiencia.

Como la eficiencia siempre es menor al 100% debido a las pérdidas magnéticas y en el cobre de la potencia.

4.4. PRUEBAS A TRANSFORMADORES INSTALADOS EN LA NUEVA RED EN CU.

De prototipo.

De acuerdo con la norma NMX-J-285-ANCE.

- Tensión de impulso por rayo.
- Factor de potencia del líquido aislante.
- Factor de potencia de los aislamientos del conjunto.
- Elevación de temperatura de los devanados.
- Hermeticidad.
- Cortocircuito. La prueba como tal no es necesaria, es suficiente con demostrar por métodos teóricos que los equipos soportan la prueba de cortocircuito.

De aceptación.

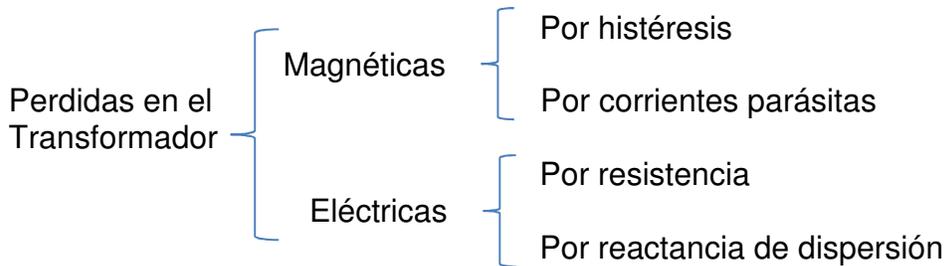
Son las indicadas establecidas por la norma NMX-J-285-ANCE.

- Resistencia óhmica de los devanados.
- Resistencia de aislamiento (1 min. Para 75 kVA, 112.5 kVA, 150 kVA, 225 kVA, 300 kVA, 500 kVA; 10 min. Para 750 kVA, 1000 kVA).
- Rigidez dieléctrica del líquido aislante.
- Tensión aplicada.
- Tensión inducida.
- Relación de transformación.
- Polaridad y secuencia de fases.
- Pérdidas de vacío.
- Corriente de excitación.
- Pérdidas debidas a la carga.
- Tensión de impedancia.

4.5. PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Las pérdidas de energía que hay en un sistema eléctrico pueden variar debido al uso o diseño de cada fabricante, estas son debidas a la carga o independientes a ella.

Estas pérdidas se pueden clasificar como:



Estas pérdidas son representadas por energía que se manifiesta en forma de calor en el núcleo magnético, son las que se reordenan con los dominios magnéticos en cada semiciclo. La permeabilidad del material ferromagnético no tiende a infinito por lo que la corriente de excitación no es despreciable. No es constante tendiendo a bajar considerable el grado de excitación, en estas condiciones el aumento de corriente no aumenta el flujo y se dice que el núcleo está saturado, tampoco tiene retentividad forma parte de un flujo que fue magnetizado, si se disminuye el la corriente de excitación el flujo desciende por una trayectoria superior; con corriente nula, el flujo con valor pequeño y corriente negativa se genera la parte simétrica. Una corriente alterna hace variar el flujo según su perímetro, lo que origina el ciclo de histéresis.

La pérdida por histéresis se da por la potencia para magnetizar el núcleo no sea reactiva pura como debería ser ideal, sino que se tiene una componente real.

4.5.1. PÉRDIDAS MAGNÉTICAS.

Son debidas a que el núcleo conductor de energía. Esto forma espiras cerradas rodeando las líneas de flujo magnético, ya que el flujo es variable en el tiempo se inducen en las espiras fuerzas electromotrices de acuerdo a la ley de Faraday y a

su vez se crean corrientes en forma de remolino. Se producen por el calentamiento del núcleo y la pérdida de energía se induce desde el primario, como si se estuviera solicitando por “secundarios parásitos”

Estas se pueden disminuir con la construcción de un núcleo de láminas apiladas y no de columnas o yugos macizos.

Las pérdidas de magnetización se presentan con el solo hecho de energizar el transformador aunque no haya carga en el secundario.

La corriente de excitación es la suma de magnetización y el núcleo

$$i_{ex} = i_m + i_{h+e}$$

En el cobre tiene lugar en el devanado de cada máquina, las mecánicas se originan por la rotación del elemento giratorio. En las pérdidas magnéticas se originan en dos partes tanto en el hierro o en el núcleo, a estas se les llaman por corrientes parásitas y por histéresis este es el caso de un transformador.

En la ley de Faraday se explican este tipo de pérdidas por corrientes parásitas o de Foucault:

el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

Estas son ocasionadas por la inducción en los bobinados de campos variados esto causa una circulación de electrones o una corriente inducida en el conductor, estas corrientes en circulares crean electroimanes con campos magnéticos que se oponen al efecto de campo magnético. Cuanto más fuerte sea el campo magnético aplicado, o mayor la conductividad del conductor, o mayor la velocidad relativa de movimiento, mayores serán las corrientes de Foucault y los campos opositores generados.

Cuando hacemos pasar a un material magnético a que recorra su ciclo de histéresis se produce una pérdida de potencia o también conocida como pérdida por histéresis, esta surge por la fricción molecular a medida que los dominios magnéticos son forzados a invertir sus direcciones por la fuerza magnetomotriz (FMM) aplicada después de para después de varios ciclos donde la histéresis se vuelve simétrica y la energía que se suministra o la densidad de energía (energía por unidad de volumen) al campo magnético cambia a lo largo de su trayectoria por la cual circula.

Gracias a las pruebas que realizó Charles Steinmetz en varios materiales ferromagnéticos propuso que la pérdida por histéresis está dada por la ecuación:

$$P_h = k_h f B^n$$

Dónde:

P_h es la pérdida de histéresis [W].

K_h coeficiente del material

f es la frecuencia

n es el exponente de Steinmetz y varía de 1.5 – 2.5.

B es la inducción

Pérdidas por dispersión: son debido al flujo disperso que se originan en el núcleo, soportes, depósitos y otras partes de hierro. Estas elevan la temperatura dentro del transformador y por lo tanto elevan la zona caliente de los devanados o los enrollamientos en distintos tipos de Transformadores. Como son difíciles de calcular estas pérdidas, se supone que varía con el cuadrado de la corriente por la frecuencia (i^2f).

Debido a que las cargas no son totalmente lineales presentan una componente de carga directa en la carga, para este caso, las pérdidas aumentarán poco en el núcleo y por lo tanto, en la corriente de magnetización y el nivel de sonido, por lo que se debe de evitar este tipo de pérdidas. En transformadores de distribución en delta-estrella que se suministran cargas no lineales es común debido, a las fuentes de conmutación, las armónicas “triples” circularan por el lado de la estrella

y no por la delta (caso balanceado), ya que se quedan atrapadas produciendo sobrecalentamiento de los devanados.

4.5.2. PÉRDIDAS ELÉCTRICAS.

Debidas a que el material tiene una resistividad mayor que cero. Debe de haber una separación en las espiras, en las bobinas y en los núcleos, esto se debe a la necesidad de interponer aislamientos.

Por resistencia. El alambre con el que se construye la bobina tiene una resistencia, para los pequeños es de fracciones de Ohm pero para los grandes y de potencia llega a ser de unidades y decenas de Ohms. Las pérdidas en el voltaje y la energía son a causa de la corriente que pasa por esta resistencia.

Por reactancia de dispersión. La separación de las espiras, capas y núcleo permiten que se formen líneas de flujo magnético fuera del núcleo, estas se crean por fuertes corrientes de carga en el transformador. El flujo de dispersión solo eslabona una bobina, de esta manera cada bobina tiene su flujo de dispersión tanto en alta como en baja tensión.

Se conoce como pérdida de potencia eléctrica, ya que es el calor resistivo de los devanados tanto primario como secundario, a esto se le llama como efecto Joule.

$$P = I^2R.$$

Como varía al cuadrado la corriente en cada devanado, se incrementa en el cobre por esta razón también se le conoce como pérdida variable o también como Óhmica, incluye las componentes armónicas pero es independiente de la frecuencia.

Para calcular estas pérdidas es necesario conocer la resistencia, la reactancia e impedancia, estos datos deben ser dados por el fabricante.

La impedancia se puede mostrar como porcentaje (%) de la caída de tensión nominal en el primario que ocurrirá cuando circule la corriente nominal por el

secundario o de plena carga; de esta manera con éste porcentaje se calcula la impedancia en Ohms del primario y del secundario.

La relación entre la resistencia R, la reactancia X e impedancia Z:

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

Las pérdidas del cobre en watts a plena carga (W), son ocasionadas por la corriente eléctrica que circula a través de la resistencia de los devanados como:

$$W = R_p I_p^2 = R_s I_s^2$$

Las pérdidas que existen en un sistema por parte de un transformador son las debidas a:

La carga e impedancia: las cuales están relacionadas por I^2R de la carga del transformador, las de corrientes parásitas y las de dispersión.

Pérdidas en el núcleo: Se deben a la excitación de la tensión aunque en la corriente de la de magnetización contiene armónicos, los cuales son muy pequeños comparados con los de la carga y su efecto sobre las pérdidas es mínimo.)

- En el vacío y corriente de excitación.

Las pérdidas las constituyen principalmente en vacío las cuales son una función de la magnitud, frecuencia y forma de onda de la tensión aplicada. Estas pérdidas son muy sensibles a las diferentes formas de onda y por lo tanto sus valores varían marcadamente con la forma de onda de la tensión de prueba, la onda de tensión en forma de pico (factor de forma mayor que 1.11) que se produce generalmente por el carácter distorsionante de la corriente de excitación sobre la fuente de alimentación, da como resultado pérdidas menores que las correspondientes a la forma de onda senoidal.

La determinación de estas pérdidas debe estar basada en una tensión de onda senoidal, al menos que se especifique una forma de onda diferente. Están constituidas por la histéresis y corrientes circulantes.

Las de histéresis: son una función de la densidad máxima del flujo del núcleo e independientes de la forma de onda

En el análisis de una máquina se puede dividir en 3 grandes categorías:

- Cuando la corriente de una fuente de potencia alterna fluye en un circuito para producir un flujo en el núcleo ferromagnético, tiene 2 corrientes:
 - Corriente de magnetización, que se usa para producir flujo en el núcleo.
 - La corriente de pérdidas que se da por la histéresis y las parásitas que se dan por el calentamiento resistivo pero en el núcleo.

Los cálculos se mostraran más adelante en el capítulo 6 para tener un análisis de los transformadores instalados en la nueva red de distribución eléctrica del Campus Universitario.

CAPÍTULO 5. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES SUBTERRÁNEOS.

En este capítulo se anotan las características de los conductores eléctricos ya que forman parte indispensable en la conducción de energía eléctrica, los cálculos de las pérdidas eléctricas de los conductores y en especial los conductores subterráneos que las nuevas tecnologías ofrecen, una mayor eficiencia y menos pérdidas y por supuesto son los que se seleccionaron para la construcción de la nueva red eléctrica del campus universitario.

Un conductor de energía eléctrica, sea subterráneo o aéreo está formado por un grupo de conductores más pequeños colocados en distintas formas y cubiertos con pantallas y aislantes para así poder transmitir la energía eléctrica desde una fuente de generación hasta ser transformada y distribuida en los diferentes lugares de consumo.

Para las grandes ciudades con gran densidad de carga no se recomienda colocar un sistema de líneas aéreas de media tensión por la inseguridad que representa para los pobladores y además su aspecto físico no da buena imagen por la colocación de postes y demás equipo.

Los conductores de energía subterráneos cuentan con las características necesarias para su óptimo funcionamiento dadas las condiciones a las que se expone*, (humedad, corrosión, contaminación, daños mecánicos, altas temperaturas, etc.) asegurar una buena confiabilidad, debido a que si existe una falla en este tipo de conductor no será difícil de detectar y reparar puesto que es visible en una instalación subterránea.

5.1. CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE CABLES SUBTERRÁNEOS.

Uno de los materiales de mejor conducción de electricidad es el metal aunque no todos son considerados por sus propiedades y características, los que son considerados son aquellos que cuentan con la mayor capacidad de conducción.

La conductividad es la inversa de la resistividad:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad 5.1$$

Dónde:

σ es la conductividad en $\left[\frac{S}{m}\right]$ (siemens por metro)

ρ es la resistividad.

Uno de los metales más usados para la fabricación de un conductor es el cobre, por tener buenas propiedades de conducción y ser accesible en precio y extracción, en comparación con otros metales, de igual manera se tiene al aluminio como otra opción sólo que no tiene una buena conducción (60 % con respecto al conductor de cobre) pero su precio es más accesible y es más ligero para su instalación.

Otro buen metal como conductor es la plata, solo que su costo es muy alto.

En los sistemas aéreos de alta tensión y extra alta tensión el cobre ha sido sustituido por el aluminio con alma de acero ACSR dado que presenta poca resistencia eléctrica y menor peso para las estructuras (postes, torres).

Por lo que para el uso adecuado del conductor, se deben considerarse sus propiedades básicas como las que se enlistan enseguida:

1) Los conductores de aluminio [Ver Figura 5.1] se utilizan siempre en forma de hilos trenzados, debido a que poseen mejor resistencia a las vibraciones que los conductores de un alambre.



Figura 5.1. Conductor de aluminio

2) La dureza superficial de los conductores de aluminio es sensiblemente menor que para los de cobre, por lo que se deben manipular con cuidado, además los hilos que componen el conductor deben ser de 2 [mm] de diámetro más, para que especialmente en las operaciones de tendido no se arriesguen a daños graves.



Figura 5.2. Conductores a la intemperie

3) Expuestos a la intemperie [Ver Figura 5.2] se recubren de una capa protectora de óxido insoluble y que protege al conductor contra la acción de los agentes exteriores. Pese a esto deberá prestarse atención cuando hay ciertos materiales en suspensión en la atmósfera, zonas de calderas, cementeras, etc. Se debe seleccionar una aleación adecuada.

4) Ciertos suelos naturales atacan al aluminio en distintas formas, por lo que no es aconsejable utilizarlo para la puesta a tierra, al menos cuando se ignoran las reacciones que el suelo puede producir.

5) La humedad en el aire tiene una acción de daño muy lento sobre el aluminio, aun así numerosas líneas están construidas en los lugares con gran humedad [Ver Figura 5.3], han demostrado óptimo comportamiento, en estos casos se deben extremar las precauciones en lo que respecta al acierto en la elección de la aleación y su buen estado superficial, en general el daño será más lento cuanto menos defectos superficiales tenga el cable. Los defectos superficiales son punto de partida de ataques locales que pueden producir daños importantes, si no se presentan entalladuras o rebabas (que pueden ser causadas por roces durante el montaje), los hilos serán menos sensibles al daño exterior.



Figura 5.3. Ambiente con un grado alto de humedad.

6) El aluminio es electronegativo en relación a la mayoría de los metales que se utilizan en las construcciones de líneas, y por esto se debe tener especial cuidado en las uniones o empalmes.



Figura 5.4. Medición de temperatura de fusión de un metal

7) La temperatura de fusión [Ver Figura 5.4] del aluminio es 660 [°C] mientras que la del cobre se funde a 1083 [°C] por lo tanto los conductores de aluminio son más sensibles a los arcos eléctricos.

Tabla 5.1.
Conductividad eléctrica de algunos metales.

| Metales Conductividad Eléctrica | Conductividad eléctrica [S·m-1] | Temperatura [°C] |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Plata | $6,30 \times 10^7$ | 20 |
| Cobre | $5,96 \times 10^7$ | 20 |
| Cobre recocido | $5,80 \times 10^7$ | 20 |
| Oro | $4,55 \times 10^7$ | 20-25 |
| Aluminio | $3,78 \times 10^7$ | 20 |

Por otro lado los sistemas se clasifican por su tensión de operación:

Alta tensión. Su valor nominal es de los 35 kV hasta los 400 kV y son utilizados en sistemas de Transmisión y Subtransmisión para largas distancias.

Media tensión. Su valor nominal es desde los 5 kV hasta los 35 kV y son utilizados en los sistemas de distribución.

Baja tensión. Su valor nominal es desde 1 V hasta 2000 V, son ocupados para la alimentación de las grandes urbes y zonas de industriales.

La configuración puede ser:

Cable Monopolar: este se ha empleado en la corriente continua, pero recientemente se usa mucho para los sistemas de alta tensión.

Cable Tripolar. Es empleado en el transporte de sistemas trifásicos donde los conductores pueden ser circulares o sectoriales.

5.2. CABLES SUBTERRÁNEOS.

Características.

DEL SISTEMA.

| | |
|---|---------------------------------------|
| Tensión nominal entre fases | 23 kV eficaz |
| Frecuencia | 60 HZ |
| Tipo de sistema | “C” con $X_0/X_1 > 3$ y $R_0/X_1 > 1$ |
| Tensión de aguante al impulso por rayo (NBAI) | 150 kV cresta |
| Altitud de operación | 2300 msnm |
| Temperatura ambiente | -10 °C a + 40 °C |
| Humedad relativa | 90% |
| Medio ambiente NMX-J-150/1-ANCE-1998 | Altamente contaminante |

DEL CABLE

Cable de energía 25 kV con aislamiento de XLP-RA 133% N.A., conductor de cobre compacto sellado contra humedad con hilos o cintas hidrófilas, compatibles con el conductor y con la pantalla semiconductora sobre el conductor (No se aceptarán compuestos asfálticos como sellador), calibre, pantalla de alambres de cobre con cintas bloqueadoras contra la humedad y cubierta de polietileno de alta densidad en color negro con franjas rojas extruidas, longitud de tramos y longitud total del pedido.

El cable debe cumplir con las normas, NMX-J-142/1-ANCE-2009 y/o NRF-024-CFE-2003 y con lo indicado a continuación.

GENERALES

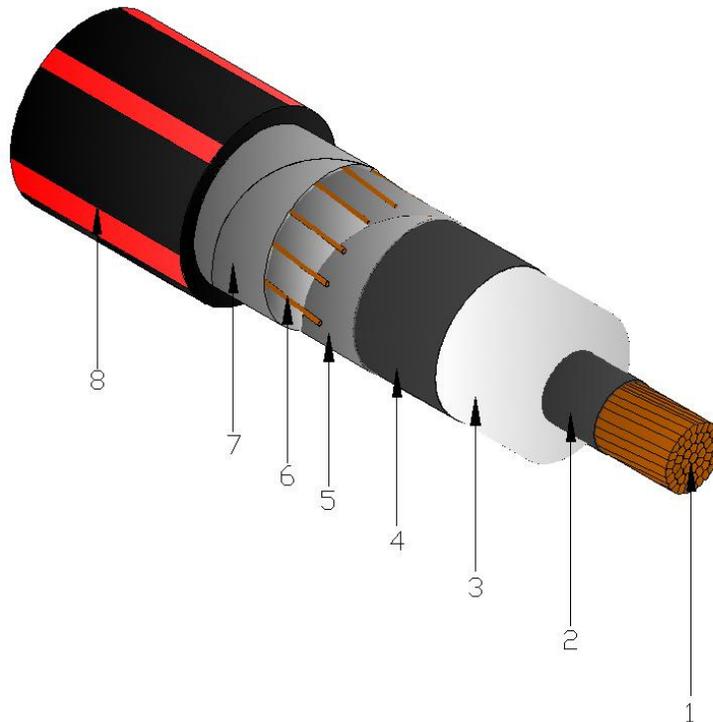
| | |
|-----------------------------|---------------|
| Tensión nominal entre fases | 25 kV |
| Tipo de cable | monoconductor |

TEMPERATURAS MÁXIMAS EN EL CONDUCTOR.

| | |
|-------------------|-------|
| Operación normal: | 90°C |
| Sobrecarga: | 130°C |
| Cortocircuito: | 250°C |

CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CABLE.

En la siguiente figura se muestran con detalle los elementos con los que se debe de construir el cable de 25 kV para la red de distribución subterránea de la UNAM



Descripción de los elementos constructivos:

1. Conductor de cobre redondo compacto, sellado con hilos o cintas hidrófilas contra la penetración longitudinal de agua.
2. Semiconductor interno extruido.
3. Aislamiento de XLP-RA (Polietileno de cadena cruzada retardante a las arborescencias) 133% N.A. El aislamiento y las pantallas semiconductoras deberán ser aplicadas por el proceso de triple extrusión real con curado en seco.
4. Semiconductor sobre aislamiento extruido.
5. Cinta expandible semiconductoras sobre semiconductor para evitar la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.
6. Pantalla metálica formada por alambres de cobre suave aplicados helicoidalmente. (9 alambres calibre 20 AWG).
7. Cinta expandible aislante sobre alambres de cobre para evitar la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.

8. Cubierta externa de polietileno de alta densidad en color negro con franjas rojas extruidas. Además de la leyenda exigida por la norma, el cable deberá indicar la longitud del mismo a cada metro.

PRUEBAS.

Las pruebas de acuerdo a la norma NMX–J–142/1–ANCE-2009 son las siguientes:

Pruebas a prototipos.

Las pruebas a prototipos deben efectuarse de acuerdo a la norma NMX–J–142/1–ANCE-2009 y se enlistan en la Tabla No. 5.2.

TABLA. 5.2.
Pruebas a prototipos.

| | Pruebas |
|----|--|
| 1 | Medición de espesores |
| 2 | Resistencia eléctrica del conductor a la corriente directa |
| 3 | Continuidad y resistencia eléctrica del componente metálico de la pantalla a la corriente directa |
| 4 | Continuidad de las capas semiconductoras extruidas |
| 5 | Descargas parciales |
| 6 | Factor de disipación |
| 7 | Estabilidad de la resistividad volumétrica de las pantallas semiconductoras |
| 8 | Aguante del dieléctrico a la tensión |
| 9 | Absorción de humedad, método eléctrico |
| 10 | Alta tensión corriente alterna larga duración |
| 11 | Tensión de impulso a la ruptura |
| 12 | Arborescencias forzadas |
| 13 | Penetración longitudinal de agua en el conductor sellado y/o en la pantalla sobre el aislamiento |
| 14 | Resistencia a la propagación de la flama (solo en cables con cubierta de PVC retardante a la flama). |
| 15 | Resistencia a la intemperie (solo para cables con el marcado "SR") |

Pruebas de rutina.

Las pruebas de rutina deben efectuarse de acuerdo a la norma NMX–J–142/1–ANCE-2009 y se enlistan en la Tabla. 5.3.

TABLA. 5.3.
Pruebas de rutina

| | Pruebas |
|----|---|
| 1 | Temperatura de fragilidad de la pantalla semiconductora sobre el conductor |
| 2 | Esfuerzo y alargamiento por tensión a la ruptura de la pantalla semiconductora sobre el conductor |
| 3 | Alargamiento en caliente y deformación permanente del aislamiento |
| 4 | Resistividad volumétrica de las pantallas semiconductoras |
| 5 | Adherencia entre el aislamiento y componente semiconductor extruido sobre el aislamiento |
| 6 | Absorción de humedad del aislamiento |
| 7 | Factor de ionización del aislamiento |
| 8 | Doblez en frío |
| 9 | Agrietamiento en ambiente controlado (NMX-J—426-ANCE) |
| 10 | Envejecimiento en aceite de cubiertas (NMX-J-194-ANCE) |
| 11 | Choque térmico (NMX-J-190-ANCE) |

5.3. ACCESORIOS E INSTALACIÓN DE CABLES SUBTERRÁNEOS EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO.

Para la instalación de un cable de energía se requiere:

Empalmes: son utilizados para la unión de conductores, de manera que se pueda usar como una sola pieza del sistema. Son necesarios para las grandes distancias o por las fallas que se puedan presentar en algún punto intermedio del conductor se pueden encontrar distintos tipos de empalmes para un sistema.

Terminales: son instaladas en los extremos de los conductores para una buena conexión en el sistema y tener un menor esfuerzo eléctrico en ese punto. Las más usadas dependen del tipo de conductor ya sea exterior o interior.

Marcado.

Sobre la cubierta protectora exterior, con caracteres en alto o bajo relieve de 5 mm de altura y repetido cada 30 cm, además de lo indicado con la Norma NMX–J–142/1–ANCE–2009, se deben marcar los siguientes datos:

- Designación del cable de acuerdo a la Tabla. 1
- Nombre del fabricante
- Año de fabricación
- Leyenda “Propiedad de la UNAM”
- Longitud del cable cada metro.

Empaque.

En carrete de madera entablillado al 100% con resistencia mecánica adecuada para su transporte y almacenamiento, debe incluir dos placas metálicas para el soporte de la flecha del portacarretes, cuyas dimensiones deben ser determinadas por el fabricante, en tramos con longitud de 500 m - 0 + 5%.

La UNAM no acepta tramos con longitudes diferentes a las especificadas, salvo en el caso en que esta situación se derive del hecho de soldar la cantidad de cable solicitada, debiendo ser esta cantidad un tramo continuo, de acuerdo a la norma NMX–EE–161-1983.

En caso de que el proveedor pretenda entregar tramos con longitud menor a la especificada, debe solicitarlo por escrito, y ser aprobada por la UNAM.

TABLA. 5.4.

Tramos de longitud menor a la especificada.

| Longitud del tramo m | Descuento al precio unitario del cable de longitud normal % |
|----------------------|---|
| 525 a 500 | 0 |
| 499 a 475 | 10 |
| 474 a 450 | 15 |
| 449 a 400 | 20 |
| 399 a 300 | 25 |
| Menor a 299 | No se aceptan |

5.4. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES SUBTERRÁNEOS.

Parte de las pérdidas que se tienen en los sistemas eléctricos por calor en los cables asilados, se pueden notar en sus elementos que lo componen, tales como en:

- El Conductor.
- El Aislamiento.
- Las Pantallas o cubiertas metálicas.
- Las Uniones o puntos calientes.

Las pérdidas de un conductor que se pueden generar son por el “efecto Joule”. Es aquel fenómeno que se da con el paso de la corriente eléctrica en un conductor, parte de la energía cinética de los electrones se convierten en calor, esto por la fricción que existe con el metal en el que circulan provocando la elevación de la temperatura y matemáticamente se determina como el cuadrado de la corriente que circulan por el junto con la resistencia que ofrece al paso de la corriente.

Esta resistencia se calcula con la temperatura de operación del conductor se toma el efecto piel y de proximidad, según la instalación y la operación.

Para términos de potencia lo podemos escribir como:

$$w_c = I^2 R_{ca} \times 10^{-3} \text{ kW/km}$$

Dónde:

I = corriente [A]

R_{ca} = resistencia en alterna [ohm/km].

Para términos prácticos se acostumbra analizar las pérdidas en unidades de energía, como lo son kWh de ahí la ecuación.

$$W_c = w_c L N H F_p \quad \text{kW} - h/\text{año}$$

Dónde:

W_c = pérdidas evaluadas con la ecuación anterior, kW/km.

L = longitud del circuito en km.

N = número de cables del sistema

H = horas efectivas de operación del sistema.

F_p = factor de pérdidas¹

$$F_p = 0.3F_c + 0.7F_c^2$$

F_c = factor de carga por unidad.

El factor de carga es....

Pérdidas en el dieléctrico.

Como se sabe cualquier material expuesto a una diferencia de potencial donde circula una corriente también produce calor, esto se conoce como pérdidas de energía.

Las pérdidas en el aislamiento de un cable depende de las características del material, como la permitividad del dieléctrico y el factor de potencia las cuales se

relacionan matemáticamente para poder cuantificar dichas pérdidas como se muestra en seguida:

$$wd = (2\pi f C E_0^2 \tan\delta) \times 10^{-3} \text{ kW/km}$$

Dónde:

f = frecuencia en Hertz.

E_0 = tensión al neutro, en Volts

$\tan\delta$ = factor de pérdidas del aislamiento a la frecuencia y temperatura de operación.

C = capacitancia del cable.

Esta se calcula como:

$$C = \frac{(0.0241)SIC}{\log_{10} \frac{da}{dc}} \times 10^{-6}$$

Donde

SIC es la constante inductiva específica del aislamiento (ver tabla 5)

da es el diámetro sobre el aislamiento, en mm.

dc es el diámetro bajo el aislamiento, en mm.

Para poder resolver las ecuaciones siguientes debemos de considerar la siguiente tabla.

TABLA 5.5.

| AISLAMIENTO | $\tan\delta$ | SIC |
|---------------------|--------------|-------|
| EP | 0.015 | 2.6 |
| XLP | 0.001 | 2.1 |
| PAPEL IMPREGNADO | 0.011 | 3.9 |

VALORES DE LA SIC Y $\tan\delta$ PARA AISLAMIENTOS.

En unidades de energía las pérdidas se expresan como:

$$W_d = w_d L N H \text{ kW} - h/\text{año.}$$

Dónde:

w_d = pérdidas calculadas de acuerdo con la ecuación.

L = longitud del circuito en km.

N = número de cables del sistema.

H = número de horas de operación efectiva en un año.

Para la presencia de los valores máximos de esta ecuación basta con que las pérdidas del dieléctrico sean constantes al energizar el cable, y esto sucede con con solo las pérdidas del conductor y que las pantallas estén ligadas a las variaciones de la corriente.

5.4.1. PÉRDIDAS EN PANTALLAS O CUBIERTAS METÁLICAS.

La corriente que circula por un conductor induce una corriente por las pantallas o cubiertas metálicas cuando se encuentran conectadas a tierra. De igual manera que en un conductor estas pérdidas se deben también al efecto Joule, es decir son consecuencia de la corriente inducida I_p por un elemento metálico que ofrece una R_p :

$$w_p = I_p^2 R_p \times 10^{-3} \text{ kW/km}$$

Dónde:

W_p = pérdidas en la pantalla de un cable del sistema, kW/km.

I_p = corriente que circula por la pantalla en amperes.

R_p = resistencia de la pantalla, ohms/km.

Cuando la resistencia de la pantalla o cubierta es constante solo se debe de corregir la temperatura de operación, la I_p depende de la del conductor, la construcción del cable y la disposición, espacio de los cables del sistema. La corriente del conductor y la que circula por las pantallas para cables monopolares y los tripolares se calcula como:

$$I_p^2 = \frac{I^2 X_m^2}{X_m^2 + R_p^2} \text{ (amperes) } A^2$$

Para otras disposiciones, la magnitud de I_p se deberá calcular para cada cable del sistema.

CAPÍTULO 6. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN EL CAMBIO DE TENSIÓN.

6.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES DE LAS SD'S.

Para poder cuantificar el ahorro debemos calcular las pérdidas generadas de un sistema a otro y así poder determinar la diferencia, con lo cual se determinará si en realidad se están generando menos pérdidas que son las que nos generarán el ahorro en un determinado momento.

Se pretende obtener el máximo de utilización o eficiencia bajo condiciones normales para estos equipos que comúnmente estén dentro del 90%.

Para el porcentaje restante se presenta en:

- Las pérdidas de la corriente de magnetización que también se conocen como en el vacío.
- Pérdidas en el cobre (devanados) que varían con la carga y ocasionan el efecto joule.

Con la obtención de estos datos podremos determinar las pérdidas totales e incluso por año en el campus universitario. Para ver más detalle consultaremos la NOM-002-SEDE-ENER, para transformadores trifásicos con la clase de aislamiento correspondiente.

Empezaremos por determinar el factor de utilización el cual se calculará de la siguiente manera:

$$F. U. = \frac{\text{Demanda Máxima}}{\text{Carga total instalada}} \quad 6.1$$

Para calcular las pérdidas utilizaremos:

$$P.C. = P.T - P.V \quad 6.2$$

Dónde:

$P.C$ = pérdidas debida a la carga.

$P.T$ = pérdidas totales

$P.V$ = pérdidas en el vacío.

Cálculo de pérdidas en los transformadores de potencia de las SE general 1 y 2.

Pérdidas en el cobre.

Estas se calculan conforme a la Norma, para poderlas enfocar más a la realidad tomaremos estos factores:

$$P.T = P.V + (P.C \times F.U^2) \quad 6.3$$

Dónde:

$P.T$ = pérdidas totales

$P.V$ = pérdidas en el vacío.

$P.C$ = pérdidas debidas a la carga.

$F.U$ = factor de utilización. Debido a que el transformador no trabaja al 100% las 24 hrs del día.

Con esto podemos terminar obteniendo los kWh / año.

$$P.T \frac{kWh}{año} = P.T \times \frac{8760hrs}{año} \quad 6.4$$

A manera de ejemplo se ilustra un cálculo realizándolo con datos de una subestación derivada.

Para la SD de la Biblioteca Central, con un TR=500 kVA.

En una medición de campo que se realizó obtenemos los datos para el cálculo.

$$F.U. = \frac{227.82}{500} = 0.45$$

Para obtener las pérdidas totales con los datos de las tablas de la ficha técnica elaborada por la Facultad de Ingeniería y de algunas pruebas que se efectuaron al instalar los transformadores en las subestaciones derivadas.

TABLA. 6.1

Pérdidas nominales en el núcleo y devanados (W).

| kVA | | | | | | | | |
|--|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| CAPACIDAD | 75 | 112.5 | 150 | 225 | 300 | 500 | 750 | 1000 |
| PÉRDIDAS NOMINALES EN EL NÚCLEO (W) | 305 | 368 | 455 | 745 | 909 | 1341 | 1478 | 1500 |
| PÉRDIDAS NOMINALES EN LOS DEVANADOS (W) | 915 | 1189 | 1482 | 2055 | 2683 | 4180 | 5333 | 7000 |

$$P.T = 1341 + (4180 * 0.45^2) = 2187.45 \text{ [W]}$$

Al final para obtener las pérdidas anuales.

Con la ecuación 6.4 se obtiene 19162.062 [W]

Para simplificar los cálculos se hará una tabla que se muestra a continuación.

| ANILLO B | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------|----------------|--------------------|--------|------------------|------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [kVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACÍO | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES | PÉRDIDAS ANUALES |
| | | FU | FU ² | [kW] | NOMINAL | REALES | [W] | [kWh] |
| BIBLIOTECA CENTRAL | 500 | 0.45 | 0.20 | 1341 | 4180 | 846.45 | 2187.45 | 19162.06 |

Este sería el cálculo para una sola subestación derivada. La red está conformada por 11 Anillos repartidos en 3 Subestaciones Generales. En la siguiente tabla se muestra el cálculo para todo el Anillo B y así sucesivamente, se tomó un promedio de la demanda para poder realizar los cálculos de los anillos consecutivos.

| ANILLO B | | | | | | | | |
|----------------------|------------|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------|-------------------|---------------------|
| DEPENDENCIA | CAP. [kVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACÍO [kW] | PÉRDIDA CARGA [W] | | PÉRDIDA TOTAL [W] | PÉRDIDA ANUAL [kWh] |
| | | FU | FU ² | | NOM. | REAL | | |
| BIBLIOTECA CENTRAL | 500 | 0.45 | 0.20 | 1341 | 4180 | 846.45 | 2187.45 | 19162.062 |
| DIRECCIÓN DE CCH | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.435 |
| CONSEJOS ACADÉMICOS | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.435 |
| ESTADIO DE PRÁCTICAS | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.948 |
| TRABAJO SOCIAL | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.848 |

En la siguiente tabla se muestra el Anillo A que es exclusivo para al edificio de Rectoría ya que es el más importante de la UNAM.

| ANILLO A | | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [kVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACIO [kW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [kWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| RECTORIA | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.429 |

En las siguientes tablas se mostrará la información calculada correspondientes a las subestaciones derivadas de cada anillo, en las cuales se resumen los datos más relevantes del cálculo y se finaliza con una tabla general de datos obtenidos.

| ANILLO C | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS EN LA CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| FACULTAD DE ARQ. I | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FACULTAD DE ARQ. II | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.208 |
| CENTRO MÉDICO | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.848 |
| ALBERCA OLÍMPICA | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.9488 |
| FAC. DE QUÍMICA C | 225 | 0.6 | 0.36 | 682 | 1836 | 660.96 | 1342.96 | 11764.3296 |
| | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.4352 |
| INST. INV. BIOMEDICAS II | 500 | 0.6 | 0.36 | 1291 | 4126 | 1485.4 | 2776.36 | 24320.91 |
| INST. INV. BIOMEDICAS I | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| VIVIERO BAJO | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 368 | 1189 | 428.04 | 796.04 | 6973.31 |
| TORRE DE INGENIERÍA | 750 | 0.6 | 0.36 | 1393 | 5333 | 1919.9 | 3312.88 | 29020.83 |
| NAVE HIDRAULICA | 750 | 0.6 | 0.36 | 1322 | 5333 | 1919.9 | 3241.88 | 28398.87 |
| FACULTAD DE ING. POSGRADO B Y C | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| FACULTAD DE ING. VALDES VALLEJO | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| FACULTAD DE ING. POSGRADO A | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 368 | 1189 | 428.04 | 796.04 | 6973.31 |
| INSTITUTO DE INGENIERIA EDIF. 12 Y 18 | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| FACULTAD DE ING. ANEXO TALLERES | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| CIA Y LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS | 750 | 0.6 | 0.36 | 1121.7 | 5333 | 1919.9 | 3041.58 | 26644.24 |
| FACULTAD DE ING. ANEXO | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| FACULTAD DE CONTADURÍA. E INFORMATICA | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| FACULTAD DE CONTADURIA Y ADM. | 500 | 0.6 | 0.36 | 1201 | 4103 | 1477.1 | 2678.08 | 23459.98 |
| FRONTÓN CERRADO | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |

| ANILLO D | | | | | | | | |
|---|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS EN LA CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REAL | | |
| INSTITUTO DE INGENIERÍA EDIFICIO 1 Y 2 | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| IIMAS | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.9 | 3397.88 | 29765.43 |
| FAC. DE VETERINARIA I | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| INST. DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FAC. DE VETERINARIA II | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.9 | 3397.88 | 29765.43 |
| INST. DE FISIOLÓGÍA, BIOTERIO | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| INST. DE FISIOLÓGÍA CELULAR BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1500 | 7000 | 2520 | 4020 | 35215.20 |
| INST. DE FISIOLÓGÍA CELULAR | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| INST. DE QUÍMICA B | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| INST. DE CIENCIAS NUCLEARES | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.9 | 3397.88 | 29765.43 |
| FAC. DE CIENCIAS 1 Y 2 | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.9 | 3397.88 | 29765.43 |
| | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |

| ANILLO E | | | | | | | | |
|---|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------------|---------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS EN LA CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| TORRE DE HUMANIDADES I FACULTAD DE FIL. Y LETRAS | 500 | 0.6 | 0.36 | 1158.9 | 4184.83 | 1506.54 | 2665.44 | 23349.24 |
| SAMUEL RAMOS | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 236.1 | 1232.44 | 443.68 | 679.78 | 5954.86 |
| ANTONIO CASO | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 236.1 | 1232.44 | 443.68 | 679.78 | 5954.86 |
| FACULTAD DE ECONOMÍA | 500 | 0.6 | 0.36 | 829.8 | 4428.77 | 1594.36 | 2424.16 | 21235.62 |
| FACULTAD DE DERECHO | 300 | 0.6 | 0.36 | 871 | 2472.03 | 889.93 | 1760.93 | 15425.75 |
| FAC. DERECHO ANEXO | 225 | 0.6 | 0.36 | 658 | 2235.01 | 804.60 | 1462.60 | 12812.41 |
| TORRE DE HUMANIDADES II | 300 | 0.6 | 0.36 | 872.8 | 2381.92 | 857.49 | 1730.29 | 15157.35 |
| UNIDAD DE POSGRADO | 500 | 0.6 | 0.36 | 861.6 | 4580.56 | 1649.00 | 2510.60 | 21992.87 |
| FACULTAD DE ING. | 500 | 0.6 | 0.36 | 1132.5 | 4216.8 | 1518.05 | 2650.55 | 23218.80 |
| DISEÑO INDUSTRIAL | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| FACULTAD DE QUÍMICA A | 500 | 0.6 | 0.36 | 940.2 | 4641 | 1670.76 | 2610.96 | 22872.01 |
| CELE | 225 | 0.6 | 0.36 | 665.3 | 2047.45 | 737.08 | 1402.38 | 12284.87 |
| INST. DE FÍSICA | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1026.7 | 6435.65 | 2316.83 | 3343.53 | 29289.36 |
| FACULTAD DE CIENCIAS | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| AMOXCALLI | 225 | 0.6 | 0.36 | 730.6 | 2025.64 | 729.23 | 1459.83 | 12788.11 |
| FACULTAD DE CIENCIAS DERMESTADIO | 500 | 0.6 | 0.36 | 888 | 4598.7 | 1655.53 | 2543.53 | 22281.34 |
| QUÍMICA D, AULAS | 225 | 0.6 | 0.36 | 703.4 | 2042.29 | 735.22 | 1438.62 | 12602.35 |
| QUÍMICA D, TALLERES | 225 | 0.6 | 0.36 | 692.1 | 2001.15 | 720.41 | 1412.51 | 12373.62 |
| FACULTAD DE CIENCIAS | 500 | 0.6 | 0.36 | 705.2 | 4789.3 | 1724.15 | 2429.35 | 21281.09 |
| TLAHUIZCALPAN | 500 | 0.6 | 0.36 | 852.1 | 4673.09 | 1682.31 | 2534.41 | 22201.45 |
| QUÍMICA E, GOBIERNO | 300 | 0.6 | 0.36 | 849.8 | 2407.55 | 866.72 | 1716.52 | 15036.70 |
| QUÍMICA E, ALIMENTOS | 500 | 0.6 | 0.36 | 888 | 4480.49 | 1612.98 | 2500.98 | 21908.55 |
| POSGRADO DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN | 225 | 0.6 | 0.36 | 717.9 | 2076 | 747.36 | 1465.26 | 12835.68 |

| ANILLO F | | | | | | | | |
|--|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------------|---------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS EN LA CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| FAC. DE MEDICINA B Y C | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FAC. DE MEDICINA D | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| FAC. DE MEDICINA INVESTIGACIÓN | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.80 | 24929.21 |
| | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.80 | 13006.85 |
| INSTITUTO DE GEOFÍSICA | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| INSTITUTO DE GEOLOGÍA | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| PLANTA HOMOGENICADORA INST. DE GEOGRAFÍA | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 368 | 1189 | 428.04 | 796.04 | 6973.31 |
| | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.80 | 24929.21 |
| UNIDAD DE BIBLIOTECAS | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| GEOS | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| INSTITUTO DE INV. EN MATERIALES II | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1500 | 7000 | 2520 | 4020 | 35215.20 |
| INSTITUTO DE QUÍMICA A | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| INSTITUTO DE INV. EN MATERIALES I | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| DGTIC | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1500 | 7000 | 2520 | 4020 | 35215.20 |
| CCADET | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| CUAED | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |

| ANILLO G | | | | | | | | |
|---|--------------|--------|-----------------|---------------------------|-----------------------|---------|----------------------------|------------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| FAC. ODONTOLOGIA CAFETERIA | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| FAC. ODONTOLOGIA B SOTANO | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FACULTAD DE MEDICINA EDIFICIO A Y AUTOCLAVE | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| FAC. DE QUIMICA B | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FACULTAD DE MEDICINA DPTO. DE PSIQ. Y SALUD MENTAL | 75 | 0.6 | 0.36 | 305 | 915 | 329.4 | 634.4 | 5557.34 |
| UNIDA DE SERVICIOS DE APOYO A LA INVESTIGACION | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| FAC. DE ODONTOLOGIA POS. | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| BIBLIOTECA VETERINARIA | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| DGAE | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| TIENDA UNAM | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1500 | 7000 | 2520 | 4020 | 35215.20 |
| FILMOTECA UNAM | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FACULTAD DE CIENCIAS POLITICAS Y SOCIALES | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y ALUMBRADO | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| INST. DE INV. ANTROPOLOGICAS | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |

| ANILLO H | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------------|---------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS EN LA CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| POS. DE PSICOLOGÍA | 500 | 0.6 | 0.36 | 1341 | 4180 | 1504.8 | 2845.8 | 24929.21 |
| FAC. DE PSICOLOGÍA A | 225 | 0.6 | 0.36 | 745 | 2055 | 739.8 | 1484.8 | 13006.85 |
| FAC. DE PSICOLOGÍA B Y C | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| DIR. GRAL. DE PUBLICACIONES | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |

| ANILLO I | | | | | | | | |
|---|-----------|--------|-----------------|---------------------|--------------------|--------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [kVA] | FACTOR | | PÉRDIDAS VACÍO [kW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [kWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| DIRECCIÓN GENERAL DE PERSONAL | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 345.9 | 1301.9 | 468.7 | 814.60 | 7135.88 |
| TALLERES DE CONSERVACIÓN OBRAS Y CONSERVACIÓN | 500 | 0.6 | 0.36 | 1039 | 4550.7 | 1638.2 | 2677.23 | 23452.57 |
| DIRECCIÓN GRAL. DE OBRAS | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 368 | 1189 | 428.04 | 796.04 | 6973.31 |
| DIRECCIÓN GENERAL DE ACTIVIDADES DEP. | 225 | 0.6 | 0.36 | 755 | 2222.3 | 800.04 | 1555.04 | 13622.17 |

| ANILLO J | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------|----------------------|------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| INCINERADOR DE BASURA | 75 | 0.6 | 0.36 | 277 | 797.81 | 287.21 | 564.21 | 4942.49 |
| | 300 | 0.6 | 0.36 | 909 | 2683 | 965.88 | 1874.88 | 16423.95 |
| INV. DE MEDICINA DEL DEPORTE | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| BOMBAS TANQUE BAJO | 150 | 0.6 | 0.36 | 455 | 1482 | 533.52 | 988.52 | 8659.44 |
| | 75 | 0.6 | 0.36 | 292 | 902.08 | 324.75 | 616.75 | 5402.72 |
| MULTIFAMILIAR | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 349.2 | 1297.58 | 467.13 | 816.33 | 7151.04 |
| BOMBAS DE RIEGO | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 355.5 | 1317.88 | 474.44 | 829.94 | 7270.25 |
| JARDÍN BOTÁNICO EXTERIOR | 75 | 0.6 | 0.36 | 285 | 875.31 | 315.11 | 600.11 | 5256.98 |
| MESA VIBRADORA | 500 | 0.6 | 0.36 | 944 | 4072.74 | 1466.19 | 2410.19 | 21113.23 |
| VIVERO ALTO, CABAÑA | 75 | 0.6 | 0.36 | 205 | 977.5 | 351.90 | 556.90 | 4878.44 |
| VIVERO ALTO, POZO 3 | 300 | 0.6 | 0.36 | 841 | 2324.06 | 836.66 | 1677.66 | 14696.32 |
| UNIDAD DE SEMINARIOS | 75 | 0.6 | 0.36 | 317 | 969.76 | 349.11 | 666.11 | 5835.16 |

| ANILLO K | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|------------------------|--------------------|---------|-------------------------|---------------------------|
| DEPENDENCIA | CAP [KVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACÍO [KW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [KWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| INST. INV. BIOMÉDICAS, BIO. | 1250 | 0.6 | 0.36 | 2085 | 8733 | 3143.88 | 5228.88 | 45804.99 |
| INST. INV. BIOMÉDICAS | 1000 | 0.6 | 0.36 | 1500 | 7000 | 2520 | 4020.00 | 35215.20 |
| | 750 | 0.6 | 0.36 | 1478 | 5333 | 1919.88 | 3397.88 | 29765.43 |
| | 500 | 0.6 | 0.36 | 1218 | 4601.52 | 1656.55 | 2874.55 | 25181.03 |
| INST. DE ECOLOGÍA | 225 | 0.6 | 0.36 | 758 | 2220.54 | 799.394 | 1557.39 | 13642.77 |
| INST. DE BIOLOGÍA A Y B | 225 | 0.6 | 0.36 | 699 | 2311.29 | 832.064 | 1531.06 | 13412.12 |
| INST. DE BIOLOGÍA C Y D | 225 | 0.6 | 0.36 | 773 | 2222.59 | 800.132 | 1573.13 | 13780.64 |
| JARDIN BOTANICO INTERIOR | 112.5 | 0.6 | 0.36 | 281.8 | 1368.37 | 492.613 | 774.41 | 6783.86 |

| PERDIDAS SD ´S | |
|----------------|------------------|
| ANILLO | ANUALES [kWh] |
| A | 29765.429 |
| B | 65911.729 |
| C | 359620.95 |
| D | 319689.542 |
| E | 401281.756 |
| F | 349872.998 |
| G | 314471.386 |
| H | 76360.920 |
| I | 51183.934 |
| J | 110289.444 |
| K | 183586.05 |
| TOTAL | 2262034.14 |

Las pérdidas para las SD total son de 2 262 034.14kW/h al año.

6.2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SG 1 Y 2.

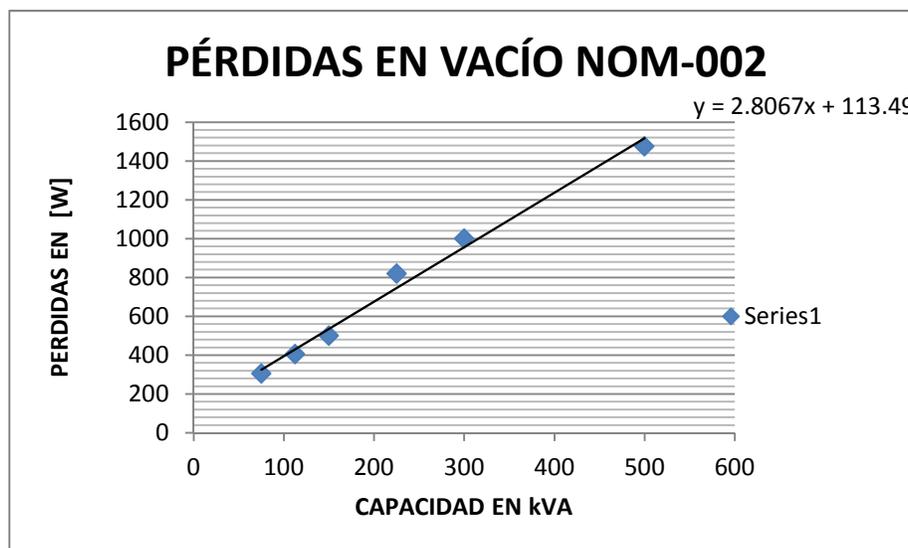
Estos transformadores de distribución se encuentran conectados en la red de 23 kV a 6 kV. Debido al nuevo diseño estos ya serán conectados al sistema ya que es de 23 kV y los anillos serán los encargados de alimentar la red.

Obteniendo los datos de las tablas de la NOM-002-SEDE-ENER.

Para las pérdidas en el vacío.

Debido a que en la NOM solo tiene valores hasta 500 kVA se realizó un método matemático para poder obtener una ecuación la cual nos diera un aproximado de los datos después de la tabla siguiente.

| PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES CLASE 25 [kV] EN VACÍO | |
|--|--------------|
| CAPACIDAD [kVA] | PÉRDIDAS [W] |
| 75 | 305 |
| 112.5 | 405 |
| 150 | 500 |
| 225 | 820 |
| 300 | 1000 |
| 500 | 1475 |



$$Y = 2.8067X + 113.49$$

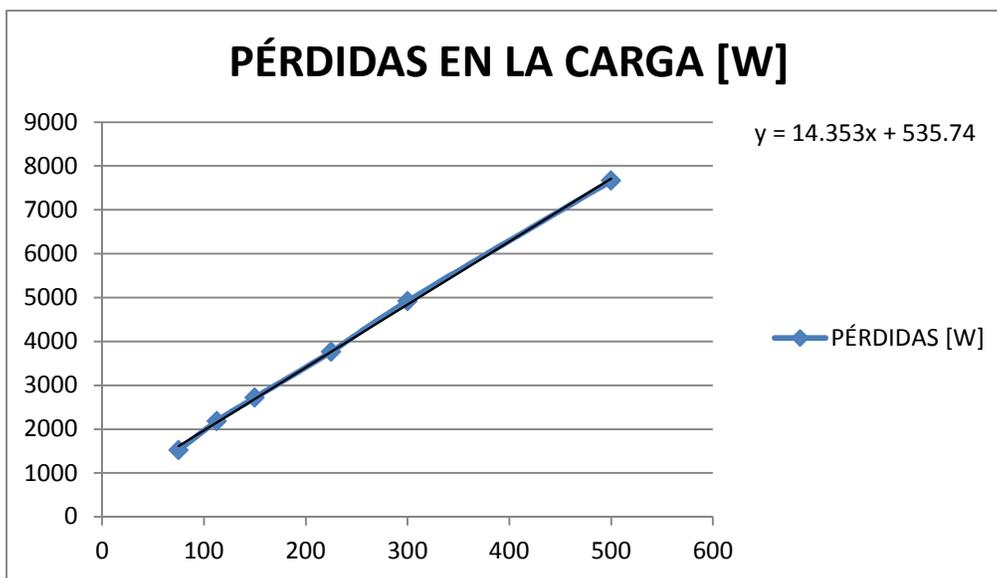
Para el Transformador de 5000 kVA y 7500 kVA.

| CAP [kVA] | Pérdidas [W] |
|-----------|--------------|
| 7500 | 21163.74 |
| 5000 | 14146.99 |
| | 35310.73 |

Para las pérdidas en la carga.

Obteniendo la ecuación de la recta con los datos de la tabla siguiente.

| PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES CLASE 25 [kV] EN LA CARGA | |
|---|--------------|
| CAPACIDAD [kVA] | PÉRDIDAS [W] |
| 75 | 1525 |
| 112.5 | 2180 |
| 150 | 2716.67 |
| 225 | 3766.67 |
| 300 | 4918.33 |
| 500 | 7663.33 |



$$Y = 14.353X + 535.74$$

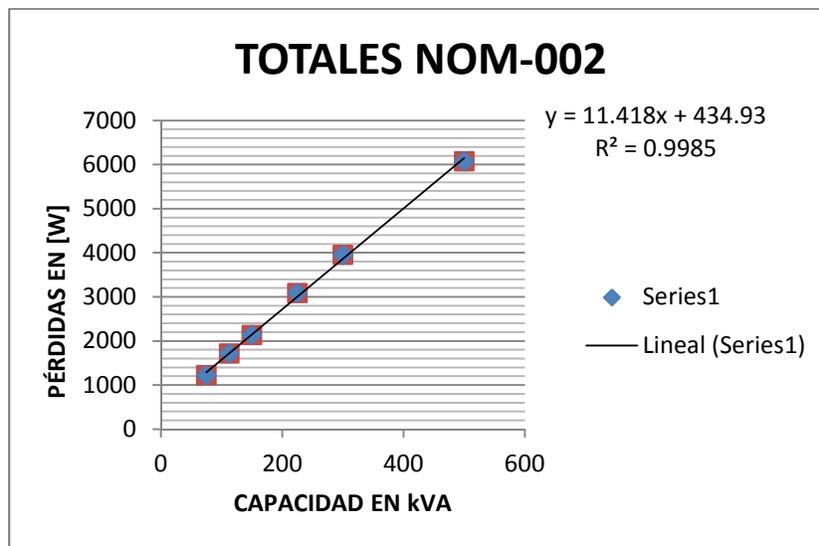
Para los Transformadores de 5000 kVA y 7500 kVA.

| CAP [kVA] | Pérdidas [W] |
|-----------|--------------|
| 5000 | 72300.74 |
| 7500 | 108183.24 |
| | 180483.98 |

Para las pérdidas totales.

De la ecuación 6.4 y de los cálculos obtenidos para las perdidas en la carga y en el vacío se obtuvo la siguiente tabla resumen.

| PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES CLASE 25 [kV] TOTALES | |
|---|--------------|
| CAPACIDAD [kVA] | PÉRDIDAS [W] |
| 75 | 1220 |
| 112.5 | 1713 |
| 150 | 2130 |
| 225 | 3080 |
| 300 | 3951 |
| 500 | 6073 |



Obteniendo la ecuación de la recta con los datos de la tabla.

$$Y = 11.928X + 273.66$$

Tenemos para los Transformadores de 5000 kVA y 7500 kVA.

| CAP [kVA] | Pérdidas [W] |
|-----------|--------------|
| 5000 | 54792.45 |
| 7500 | 82052.45 |
| | 136844.9 |

Para resumir los cálculos y tomando en cuenta que hay 2 Transformadores por subestación general y cada uno trabaja 6 meses para poderle dar mantenimiento al otro se tomó como un solo transformador para el cálculo.

| SUBESTACIONES GENERALES | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------|----------------------|------------------------|
| N.- | TRANS-FORMADOR [kVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | | PÉRDIDAS VACÍO [kW] | PÉRDIDAS CARGA [W] | | PÉRDIDAS TOTALES [W] | PÉRDIDAS ANUALES [kWh] |
| | | FU | FU ² | | NOMINAL | REALES | | |
| 1 | 7500 | 0.6 | 0.36 | 21163.74 | 108183.24 | 38945.9664 | 60109.706 | 526561.028 |
| 2 | 5000 | 0.6 | 0.36 | 14146.99 | 72300.74 | 26028.2664 | 40175.256 | 351935.246 |
| | | | | | | | TOTAL | 878496.274 |

Como se puede observar las pérdidas de los transformadores de las subestaciones generales arrojan un total de 878 496.27 kW/h, éstas ya no se generaran por el hecho de que los transformadores son de 23 000-6 000 Volts y desaparecerán de la red nueva lo cual implica que ya no habrán estas pérdidas en el sistema.

6.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CONDUCTORES.

Para este cálculo se requiere obtener

$$P=R \cdot I_o^2$$

Donde

P= pérdidas

R= resistencia del conductor

Para obtener la I_o usamos

$$I_o = I_{max} \times \lambda^{1/2}$$

Donde λ es el factor de pérdidas

La corriente I_{max} = corriente máx.

La corriente máxima (I_{max}) se obtiene:

$$I_{max} = \frac{Dem\ Med}{\sqrt{3} V fp}$$

V=tensión a 23 kV.

fp = factor de potencia

Dem Med = demanda media.

Para obtener λ se puede usar:

$$\lambda_1 = 0.3F_c + 0.7 F_c^2$$

$$\lambda_2 = 0.4F_c + 0.6 F_c^2$$

F_c es el factor de carga. Es la relación del consumo en un periodo de tiempo y la carga contratada durante ese tiempo.

Para la red nueva de 23 kV en la ciudad universitaria se instaló un cable subterráneo calibre 4/0 AWG clase 25 kV 133% NA. Con las siguientes características.

| Cable Subterráneo clase 25 kV 133% NA | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|
| Área [mm] | Calibre AWG | Diámetro conductor | Diámetro en el aislamiento [mm] | Diámetro Ext. [mm] | Peso total kg/km |
| 107.2 | 4/0 | 12.1 | 30.3 | 40.8 | 2090 |

Para el cálculo de la resistencia en corriente directa.

$$R_{cd} = \rho x \frac{l}{A}$$

Dónde:

l es la longitud

A es la área de la sección transversal

$$R_{cd} = \rho x \frac{l}{A} (1 + k_c)$$

k_c es el factor del cableado

La temperatura es a 20⁰ (la normal) con la cual se tomas de referencia.

Se debe de calcular para la corriente alterna primero la corriente en Directa y después de ahí determinar la de alterna.

Se deben de considerar algunos aspectos o factores para su cálculo como el efecto piel y el de proximidad.

A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN DATOS EN TABLAS PARA LOS CÁLCULOS, LOS CUALES FUERON PROPORCIONADOS POR EL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA DE POTENCIA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DEL PROYECTO DE LA RED DE 23 KV.

| ANILLO | LONGITUD [m] | SD'S | CARGA INSTALADA [kVA] |
|---------------|--------------|------|-----------------------|
| ANILLO A | 1690.01 | 1 | 750 |
| Alimentador 1 | 370.31 | 1 | 750 |
| alimentador 2 | 1319.7 | 0 | 0 |
| ANILLO B | 1147.64 | 5 | 1325 |
| Alimentador 1 | 934.48 | 2 | 650 |
| alimentador 2 | 213.16 | 3 | 675 |
| ANILLO C | 5700 | 20 | 8125 |
| Alimentador 1 | 3107 | 8 | 3212.5 |
| alimentador 2 | 2593 | 12 | 4912.5 |
| ANILLO D | 4761 | 11 | 7200 |
| Alimentador 1 | 2850 | 6 | 3400 |
| alimentador 2 | 1911 | 5 | 3800 |
| ANILLO E | 7359 | 20 | 8875 |
| Alimentador 1 | 4763 | 11 | 3925 |
| alimentador 2 | 2596 | 9 | 4950 |
| ANILLO F | 5698 | 14 | 7687.5 |
| Alimentador 1 | 3292 | 7 | 4137.5 |
| alimentador 2 | 2406 | 7 | 3550 |
| ANILLO G | 6809.69 | 15 | 6875 |
| Alimentador 1 | 2427.32 | 7 | 3550 |
| alimentador 2 | 4382.37 | 8 | 3325 |
| ANILLO H | 1448 | 4 | 1700 |
| Alimentador 1 | 680 | 2 | 725 |
| alimentador 2 | 768 | 2 | 975 |
| ANILLO I | 1914 | 4 | 950 |
| Alimentador 1 | 1036 | 2 | 612.5 |
| alimentador 2 | 878 | 2 | 337.5 |
| ANILLO J | 6776.5 | 10 | 2200 |
| Alimentador 1 | 2456 | 6 | 1250 |
| alimentador 2 | 4320.5 | 4 | 950 |
| ANILLO K | 2493 | 7 | 4587.5 |
| Alimentador 1 | 887 | 3 | 4025 |
| alimentador 2 | 1606 | 4 | 562.5 |

Para el cálculo de las pérdidas se calculara primero la corriente por alimentador de los anillos correspondientes.

| I [A] POR ANILLOS | | | | |
|-------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| ANILLO | CAP [kVA] | FACTOR DE UTILIZACIÓN | I _{NOM} M.T. [A] | I _{MAX} [A] |
| A | 750 | 0.6 | 18.849 | 11.309 |
| B | 650 | 0.6 | 16.336 | 9.801 |
| | 675 | 0.6 | 16.964 | 10.178 |
| C | 3212.5 | 0.6 | 80.736 | 48.442 |
| | 4912.5 | 0.6 | 123.461 | 74.076 |
| D | 3400 | 0.6 | 85.449 | 51.269 |
| | 3800 | 0.6 | 95.501 | 57.301 |
| E | 3925 | 0.6 | 98.643 | 59.186 |
| | 4950 | 0.6 | 124.403 | 74.642 |
| F | 4137.5 | 0.6 | 103.983 | 62.390 |
| | 3550 | 0.6 | 89.218 | 53.531 |
| G | 3550 | 0.6 | 89.218 | 53.531 |
| | 3325 | 0.6 | 83.564 | 50.138 |
| H | 500 | 0.6 | 12.566 | 7.540 |
| | 1125 | 0.6 | 28.273 | 16.964 |
| I | 612.5 | 0.6 | 15.393 | 9.236 |
| | 337.5 | 0.6 | 8.482 | 5.089 |
| J | 1250 | 0.6 | 31.415 | 18.849 |
| | 950 | 0.6 | 23.875 | 14.325 |
| K | 4025 | 0.6 | 101.156 | 60.694 |
| | 562.5 | 0.6 | 14.137 | 8.482 |

Con los datos de la tabla anterior se calculara los factores para poder determinar por el efecto Joule las pérdidas en los conductores.

| PÉRDIDAS DE CONDUCTORES POR EL EFECTO JOULE | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-------------|------------|-------|---------------------|-------|------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| ANILLO | CALIBRE [AWG] | RESISTENCIA | | | Factor de Pérdidas. | | I _{MAX} | I _o | I _o ² | RI _o ² [W] |
| | | Ω/Km | Dist. (km) | R(Ω) | λ | λ 1/2 | | | | |
| A | 4/0 | 0.205 | 0.37 | 0.076 | 0.432 | 0.657 | 11.309 | 7.430 | 55.209 | 4.1876 |
| | 4/0 | 0.205 | 1.31 | 0.269 | 0.432 | 0.657 | 11.309 | 4.882 | 23.831 | 6.3998 |
| B | 4/0 | 0.205 | 0.934 | 0.191 | 0.432 | 0.657 | 9.801 | 6.440 | 41.468 | 7.940 |
| | 4/0 | 0.205 | 0.213 | 0.044 | 0.432 | 0.657 | 10.178 | 6.687 | 44.719 | 1.953 |
| C | 4/0 | 0.205 | 3.107 | 0.637 | 0.432 | 0.657 | 48.442 | 31.826 | 1012.912 | 645.159 |
| | 4/0 | 0.205 | 2.593 | 0.532 | 0.432 | 0.657 | 74.076 | 48.668 | 2368.593 | 1259.061 |
| D | 4/0 | 0.205 | 2.85 | 0.584 | 0.432 | 0.657 | 51.269 | 33.684 | 1134.601 | 662.891 |
| | 4/0 | 0.205 | 1.911 | 0.392 | 0.432 | 0.657 | 57.301 | 37.647 | 1417.270 | 555.223 |
| E | 4/0 | 0.205 | 4.763 | 0.976 | 0.432 | 0.657 | 59.186 | 38.885 | 1512.045 | 1476.383 |
| | 4/0 | 0.205 | 2.596 | 0.532 | 0.432 | 0.657 | 74.642 | 49.040 | 2404.893 | 1279.836 |
| F | 4/0 | 0.205 | 3.292 | 0.675 | 0.432 | 0.657 | 62.390 | 40.990 | 1680.202 | 1133.901 |
| | 4/0 | 0.205 | 2.406 | 0.493 | 0.432 | 0.657 | 53.531 | 35.170 | 1236.921 | 610.087 |
| G | 4/0 | 0.205 | 2.427 | 0.498 | 0.432 | 0.657 | 53.531 | 35.170 | 1236.921 | 615.412 |
| | 4/0 | 0.205 | 4.382 | 0.898 | 0.432 | 0.657 | 50.138 | 32.941 | 1085.097 | 974.754 |
| H | 4/0 | 0.205 | 0.68 | 0.139 | 0.432 | 0.657 | 7.540 | 4.954 | 24.537 | 3.420 |
| | 4/0 | 0.205 | 0.768 | 0.157 | 0.432 | 0.657 | 16.964 | 11.145 | 124.220 | 19.557 |
| I | 4/0 | 0.205 | 1.036 | 0.212 | 0.432 | 0.657 | 9.236 | 6.068 | 36.821 | 7.820 |
| | 4/0 | 0.205 | 0.878 | 0.180 | 0.432 | 0.657 | 5.089 | 3.344 | 11.180 | 2.012 |
| J | 4/0 | 0.205 | 2.456 | 0.503 | 0.432 | 0.657 | 18.849 | 12.384 | 153.358 | 77.212 |
| | 4/0 | 0.205 | 4.32 | 0.886 | 0.432 | 0.657 | 14.325 | 9.412 | 88.579 | 78.446 |
| K | 4/0 | 0.205 | 0.887 | 0.182 | 0.432 | 0.657 | 60.694 | 39.876 | 1590.073 | 289.131 |
| | 4/0 | 0.205 | 1.606 | 0.329 | 0.432 | 0.657 | 8.482 | 5.573 | 31.055 | 10.224 |
| TOTAL DE PÉRDIDAS | | | | | | | | | | 9721.0090 |

Con estos datos se hará el cálculo por año para tener todo, tanto para los transformadores como para los conductores instalados en la nueva Red Eléctrica de Distribución Subterránea del Campus Universitario. VER SIG. TABLA.

| PÉRDIDAS TOTALES | PÉRDIDAS ANUALES |
|---------------------|---------------------|
| [W] | [kW] |
| 4.1876 | 36.68 |
| 6.3998 | 56.06 |
| 7.940 | 69.55 |
| 1.953 | 17.11 |
| 645.159 | 5651.59 |
| 1259.061 | 11029.37 |
| 662.891 | 5806.93 |
| 555.223 | 4863.75 |
| 1476.383 | 12933.12 |
| 1279.836 | 11211.36 |
| 1133.901 | 9932.97 |
| 610.087 | 5344.36 |
| 615.412 | 5391.01 |
| 974.754 | 8538.85 |
| 3.420 | 29.96 |
| 19.557 | 171.32 |
| 7.820 | 68.50 |
| 2.012 | 17.63 |
| 77.212 | 676.38 |
| 78.446 | 687.19 |
| 289.131 | 2532.79 |
| 10.224 | 89.56 |
| TOTAL [kW] | 85156.042 |
| TOTAL [MW] | 85.156 |

Las pérdidas calculadas para los conductores instalados en la nueva red son de 85 156.04 kW/h.

6.4. CÁLCULO DE LAS TCO₂.

Los bonos de carbono (también llamados "Créditos de Carbono") son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto_invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

En el 2000 México ratificó el Protocolo de Kioto de la convención del marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático como un país que no forma parte del Anexo B (Solo algunas Naciones aceptaron y están en una lista).

Factor de Emisión Eléctrico.

Metodología para la estimación del factor de emisión eléctrico

El factor de emisión de eléctrico que se emplea para la estimación de emisiones indirectas, provenientes del uso de electricidad comprada, varía cada año de acuerdo con la mezcla de combustibles empleados en la generación de electricidad distribuida por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La estructura del sistema eléctrico en México está compuesta por dos sectores: el público y el privado. El sector público lo integra la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los productores independientes de energía (PIE). El sector privado agrupa las modalidades de cogeneración, autoabastecimiento, usos propios y exportaciones. Para fines de los factores de emisión estimados en este documento y conforme a las metodologías empleadas para su cálculo, **sólo se considera la electricidad entregada a la red**, es decir, en el caso del sector privado, se referirá únicamente a los excedentes entregados a CFE.

Cálculo del factor de emisión eléctrico promedio del sistema

El cálculo del factor de emisión promedio del sistema eléctrico nacional se basa en el Consumo Total de Combustible y la Generación de Electricidad Neta Entregada a la Red (TOOL07, Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for

an electricity system, Version 0.4.0, Average OM Method, Option B). Este método está aprobado por la Junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio.

El margen operativo promedio (MO promedio) es el factor de emisión promedio de todas las plantas, incluyendo las de menor costo de operación y las más utilizadas; generalmente se consideran las hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, nuclear, solar y de biomasa con bajo costo.

El factor de emisión eléctrico promedio se calcula a través de los siguientes pasos:

- 1.- Calcular las emisiones totales de GEI multiplicando el consumo de combustible i de cada planta p por el factor de emisión del combustible

$$Emisiones_{p,i} = \sum_{p,i} Consumo_{combustible_{p,i}} FEC_i$$

Factores de emisión por tipo de combustible

| Combustible | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | [kg CO ₂ /TJ] | [kg CH ₄ /TJ] | [kg N ₂ O/TJ] |
| Carbón | 94600 | 1 | 1.5 |
| Diésel | 74100 | 3 | 0.6 |
| Combustóleo | 77400 | 3 | 0.6 |
| Gas Natural | 56100 | 1 | 0.1 |

Fuente IPCC,2006.

- 2.- Calcular la generación neta total de la electricidad entregada a la red

La generación neta se define como la energía eléctrica que una planta generadora entrega a la red de transmisión, y se calcula como la generación bruta menos la energía utilizada en los usos propios de la central, más las importaciones de electricidad, más los excedentes vendidos a la CFE por los autoabastecedores:

$$Electricidad\ nete_p = \sum_p Generación\ neta_p + importaciones_p + excedentes_p$$

3.- Calcular el factor de emisión eléctrico de todas las plantas

El factor de emisión eléctrico se calcula dividiendo las emisiones totales de GEI entre la electricidad neta entregada a la red:

$$FFF_p = \frac{Emisiones_{p,i}[tCO_2e]}{Electricidad\ neta_p[MWh]}$$

Tabla 1. Factores de emisión de electricidad promedio [tCO₂e/MWh]

| Año | Factor de emisión de electricidad promedio [tCO ₂ e/MWh] |
|-------------|--|
| 2000 | 0.6043 |
| 2001 | 0.6188 |
| 2002 | 0.6046 |
| 2003 | 0.6080 |
| 2004 | 0.5484 |
| 2005 | 0.5557 |
| 2006 | 0.5246 |
| 2007 | 0.5171 |
| 2008 | 0.4698 |
| 2009 | 0.5057 |
| 2010 | 0.4946 |
| 2011 | 0.5002* |
| 2012 | 0.5165* |
| 2013 | 0.4999 |

Datos estimados por el Programa GEI México.

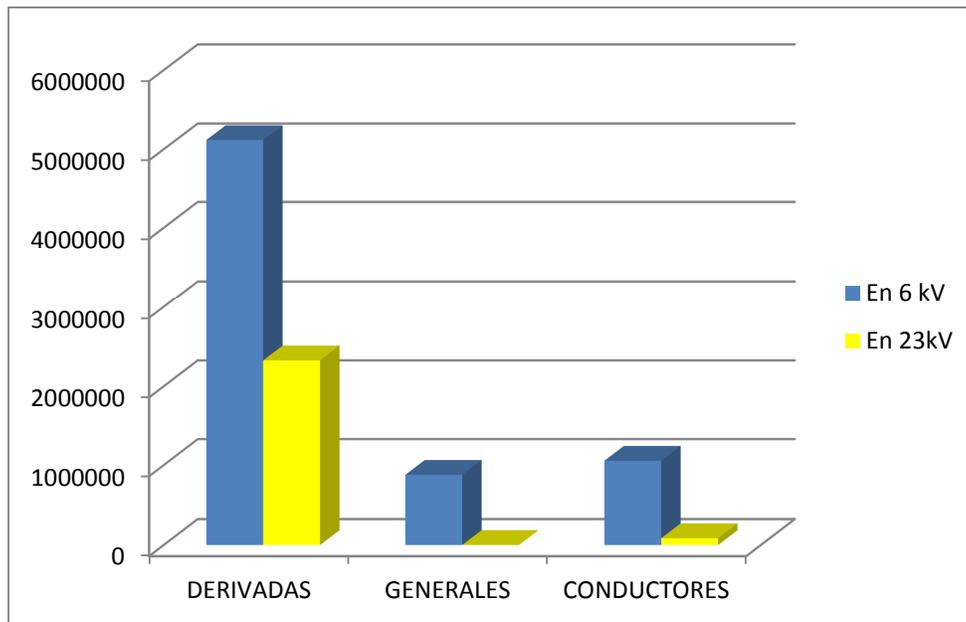
* Los valores del factor de emisión eléctrico para los años 2011 y 2012 fueron ajustados de acuerdo con las actualizaciones realizadas en el Balance Nacional de Energía.

Nota: El factor de emisión eléctrico 2013 se calculó utilizando los potenciales de calentamiento global publicados en el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC (AR5).

6.5. RESUMEN DE CÁLCULOS.

Para resumir estos cálculos mostramos lo siguiente:

| TOTAL DE PERDIDAS | | |
|-------------------|-----------|------------|
| | En 6 kV | En 23kV |
| DERIVADAS | 5116876 | 2262034.14 |
| GENERALES | 878496.27 | 0.00 |
| CONDUCTORES | 1054229 | 85156.04 |



Estas son las pérdidas eléctricas calculadas para el nuevo sistema que son en realidad de 2 262 034.55 kW/h.

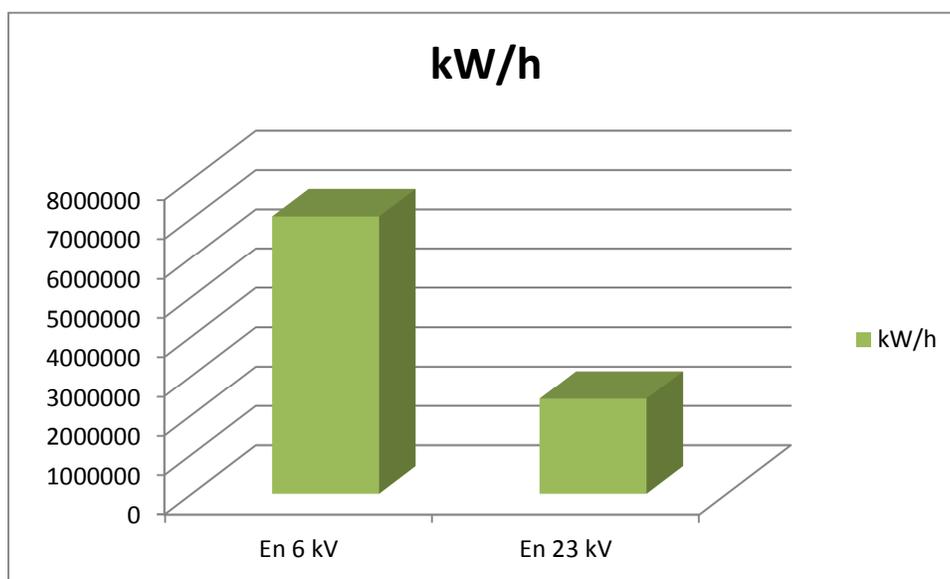
| TOTAL DE PÉRDIDAS | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| | En 6 kV | En 23kV |
| costo \$ | \$ 7,966,049.44 | \$ 2,659,366.48 |

Esta es la diferencia de las pérdidas en el cambio de la tensión a 23 Kv. Las TCO2 son las toneladas de carbono que se dejaría de emitir por la generación de electricidad, el dato fue obtenido del factor de emisión eléctrico el cual se mencionó anteriormente.

La diferencia en kWh.

| DIFERENCIA DE PÉRDIDAS | | |
|------------------------|-----------------|---------|
| kW/h | \$ | TCO2 |
| 4702411.09 | \$ 5,306,682.96 | 2350.73 |

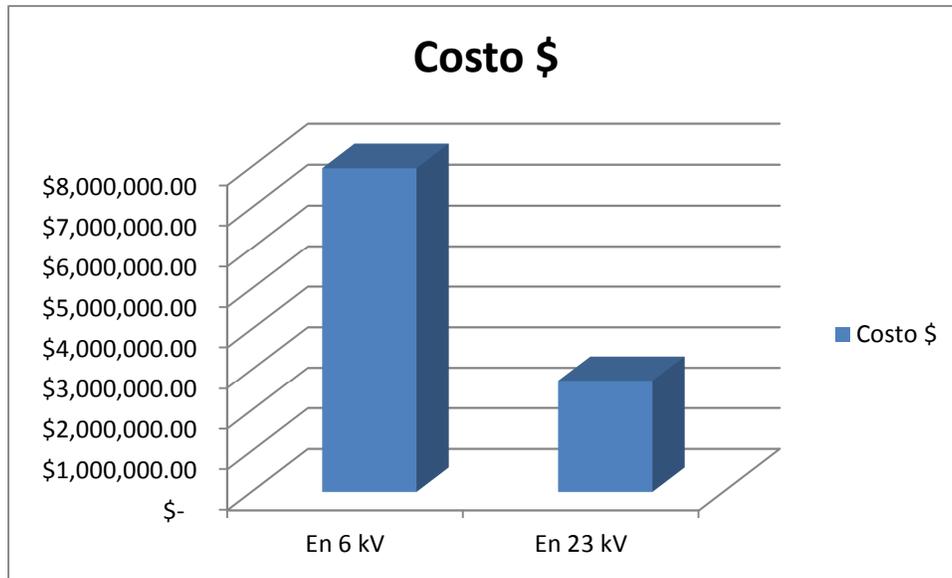
| TENSIÓN | kW/h |
|----------|------------|
| En 6 kV | 7049601.27 |
| En 23 kV | 2410512.59 |



La diferencia entre ambos sistemas es de 4702411.089 kW/h.

Diferencia económica.

| TENSIÓN | kW/h |
|----------|---------------|
| En 6 kV | \$ 7049601.27 |
| En 23 kV | \$ 2347190.18 |



La diferencia entre ambos sistemas es de \$ 5 306 682.959.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.

El primer sistema eléctrico de distribución de media tensión de la Ciudad Universitaria fue puesto en servicio en 1954, a lo largo de este tiempo se han ido haciendo múltiples ampliaciones a la red eléctrica debido al crecimiento de las dependencias y de la población universitaria.

La facultad de ingeniería mediante un diagnostico determino la obsolescencia de la red de 6 kV por lo que se determinó por parte de la Rectoría realizar un proyecto de nueva red de 23 kV. La FI está colaborando desde hace unos años realizando recorridos para la supervisión de los trabajos en la nueva instalación, así se pretende tener un mejor sistema con una mayor confiabilidad, operación y seguridad para los trabajadores que están a cargo de la ella dentro del campus universitario.

Para darnos una mejor justificación obtenida para este proyecto se muestran los datos que se han venido haciendo a lo largo de este tiempo.

Con los datos de la antigua red la carga total instalada fue de: **58.1375 MVA.**

Repartidos en las 2 generales con 33.825 MVA para la SUBESTACIÓN GRAL. 1 y 24.3125 MVA para la SUBESTACIÓN GRAL. 2.

Las pérdidas que se calcularon para dicho sistema fueron de 5111.876 kW/h, con un costo aproximado en pérdidas al año de \$6 790 094.687.

En los conductores se tuvo un estimado de 1 054 229 kW/h. para el sistema de la red en 6 kV.

Del cálculo que se efectuó para la nueva red de 23 kV, las pérdidas aproximadas para las subestaciones derivadas son de 2 262 034.55 kW/h.

Para las subestaciones generales fueron de 878 496.27 kW/h. Cabe señalar que estos transformadores son de 23 kV / 6 kV y la red se alimentara en 23 kV

directamente para cada una de las dependencias por lo que estos ya no serán útiles en la nueva instalación por lo tanto no se generaran perdidas de esta índole. Por lo que estas pérdidas son 0 kW/h. Para el nuevo sistema.

Para los conductores subterráneos fue de 85 156.04 kW/h.

Este sistema se comenzó a poner en marcha en el 2012 y se encuentra en su etapa final.

DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

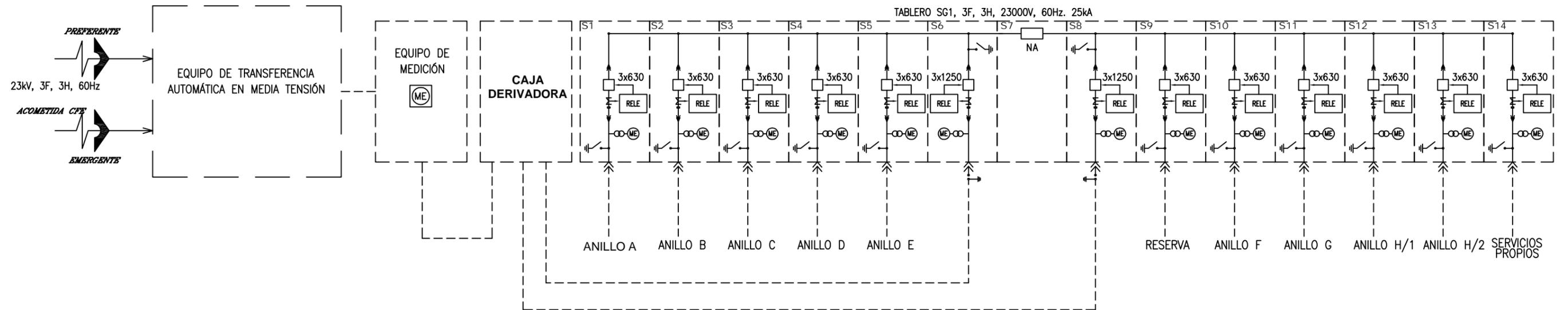


DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

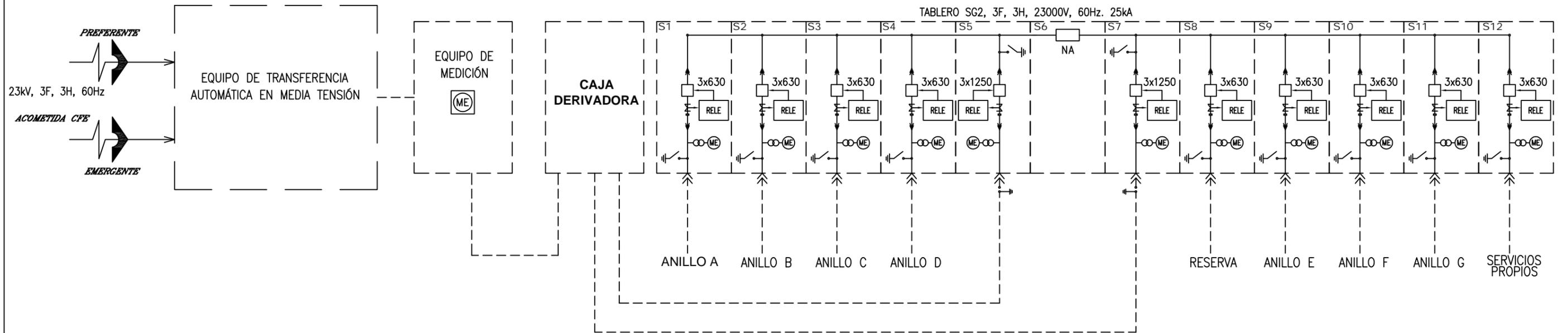


DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN GENERAL No. 4

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

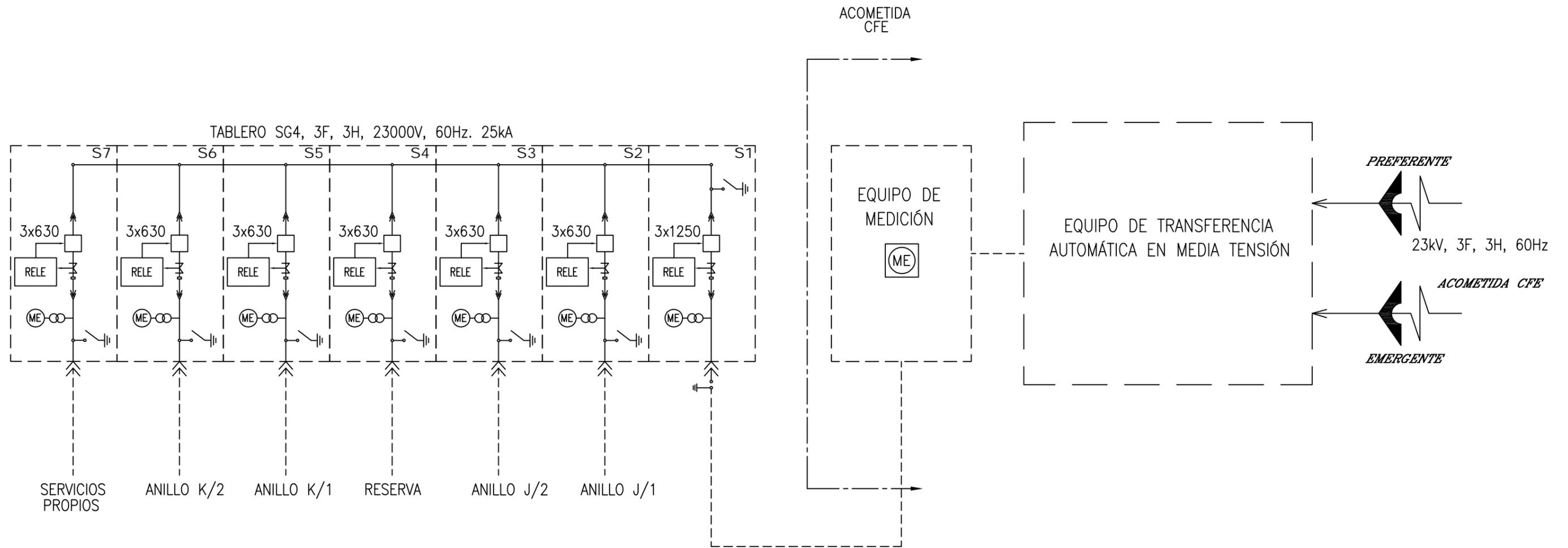


DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN GENERAL No. 5

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

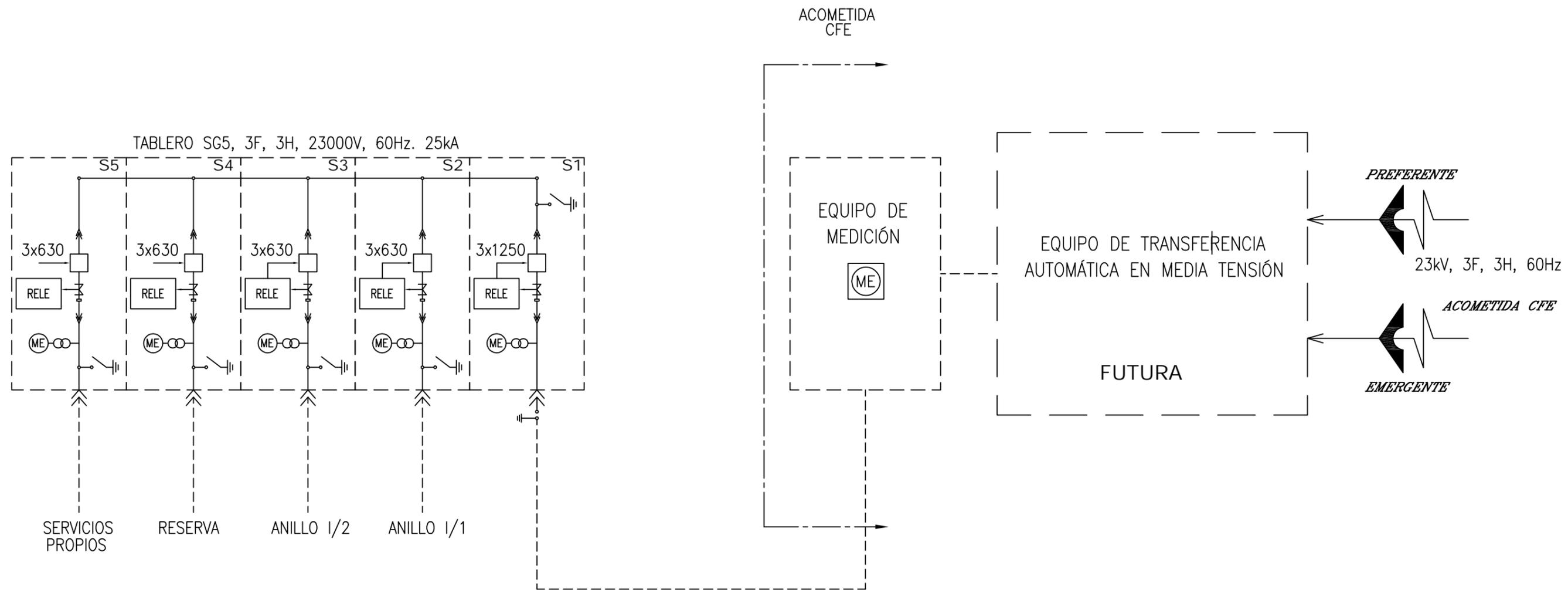


DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO A
(SG 1 / SG 2)

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

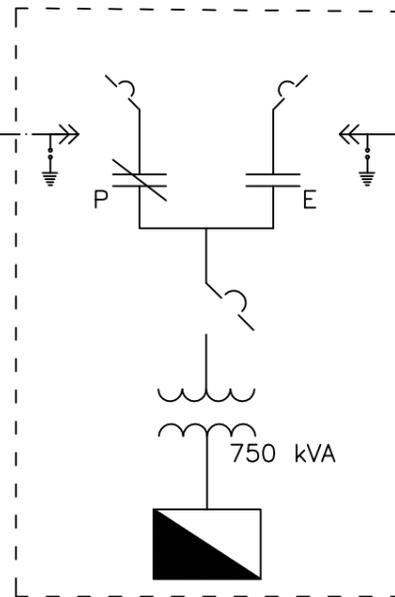
SG 1

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

SG 2

TORRE DE
RECTORÍA



**DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO B
(SG 1 / SG 2)**

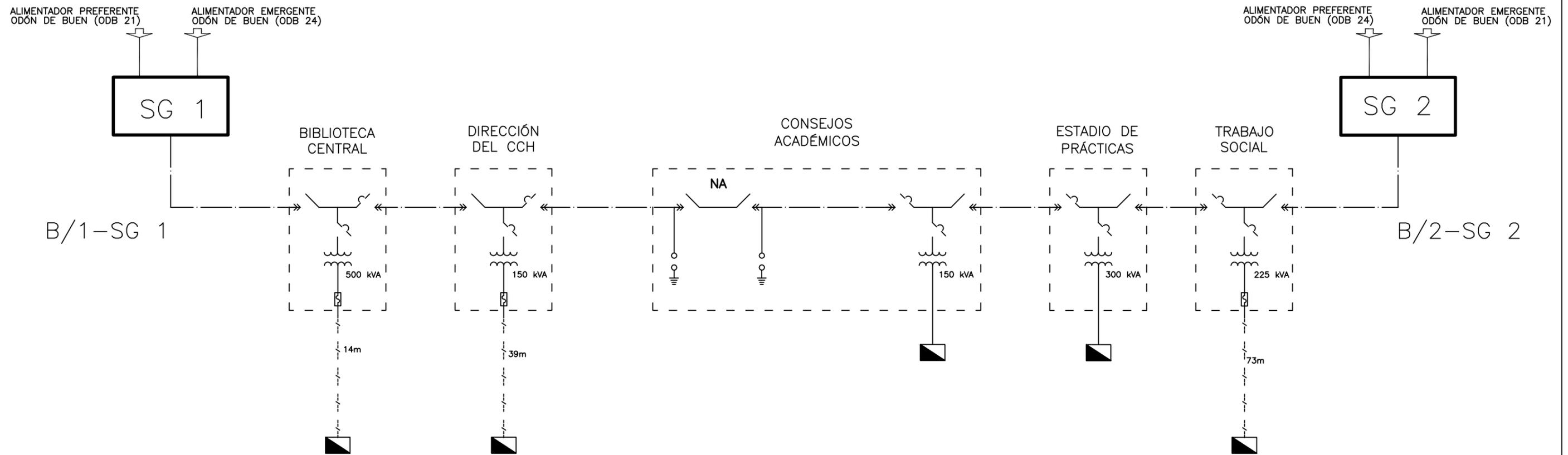
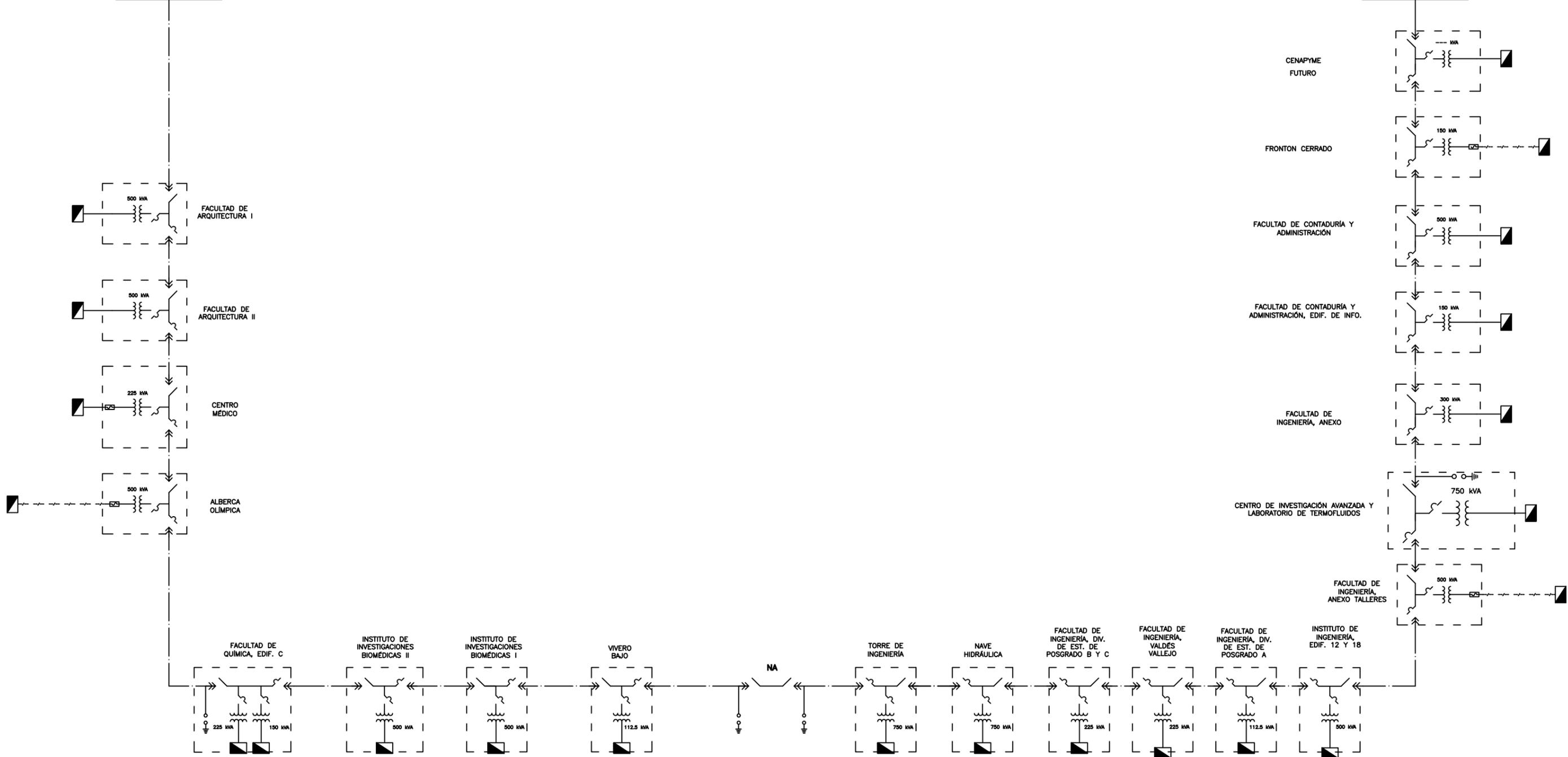
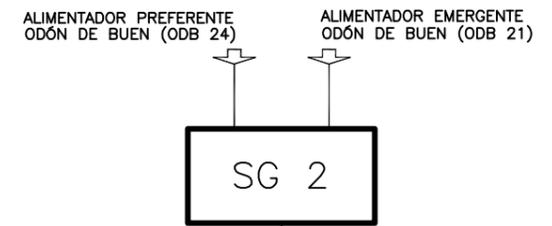
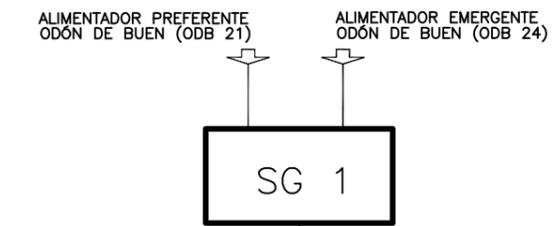


DIAGRAMA UNIFILAR ANILLO C (SG 1 / SG 2)



ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

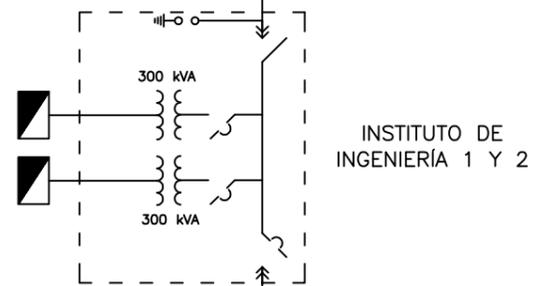
SG 1

**DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO D
(SG 1 / SG 2)**

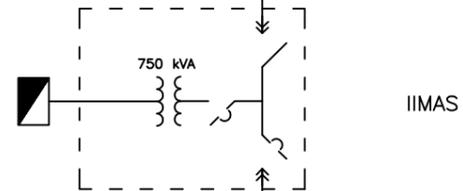
ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

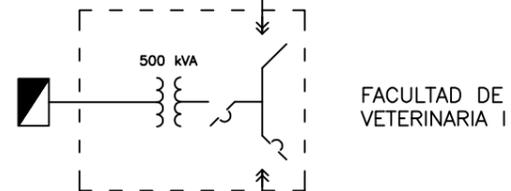
SG 2



INSTITUTO DE
INGENIERÍA 1 Y 2

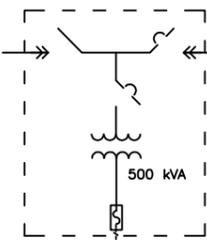


IIMAS

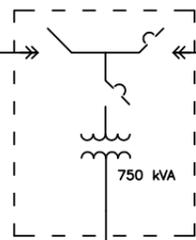


FACULTAD DE
VETERINARIA I

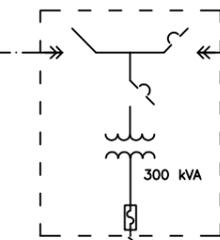
INSTITUTO DE
CIENCIAS DEL MAR
Y LIMNOLOGÍA



FACULTAD DE
VETERINARIA II

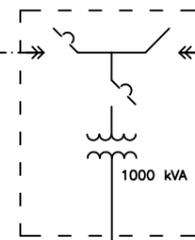


INSITTUTO DE
FISIOLOGÍA, BIOTERIO

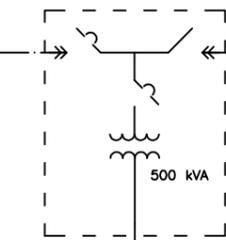


NA

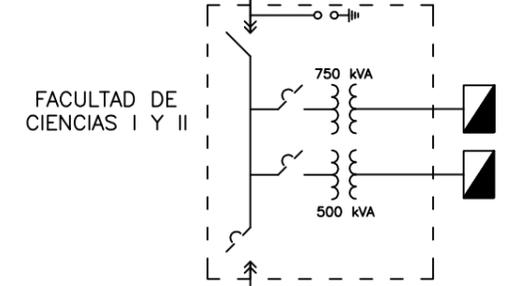
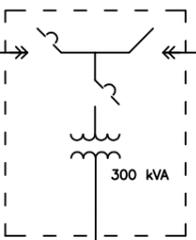
INSTITUTO DE FISIOLOGÍA
CELULAR, BIOFÍSICA Y
NEUROCIENCIAS



INSTITUTO DE
FISIOLOGÍA CELULAR

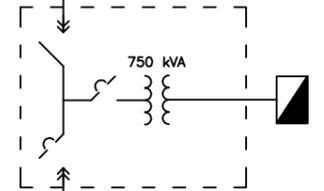


INSTITUTO DE
QUÍMICA B



FACULTAD DE
CIENCIAS I Y II

INSTITUTO DE
CIENCIAS
NUCLEARES



ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

DIAGRAMA UNIFILAR ANILLO E (SG 1 / SG 2)

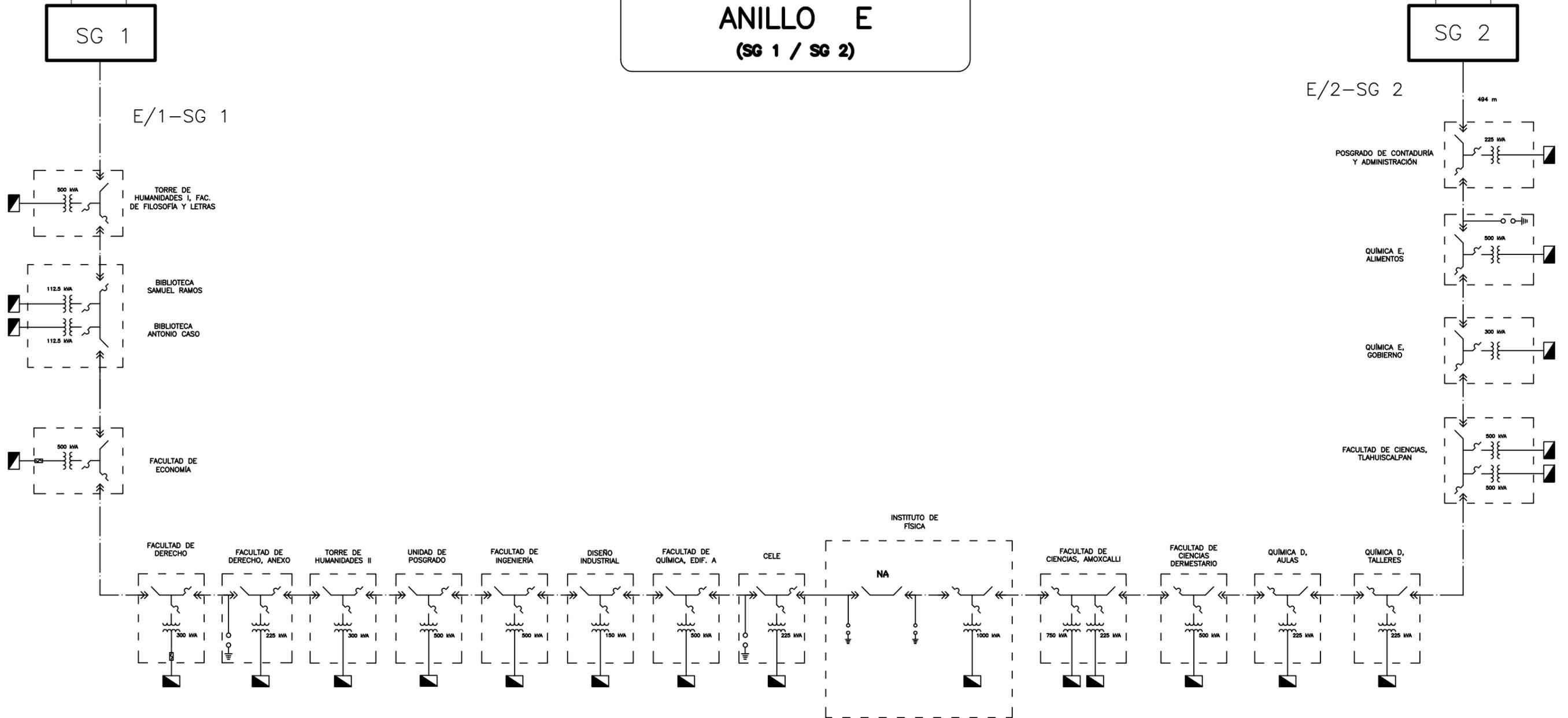
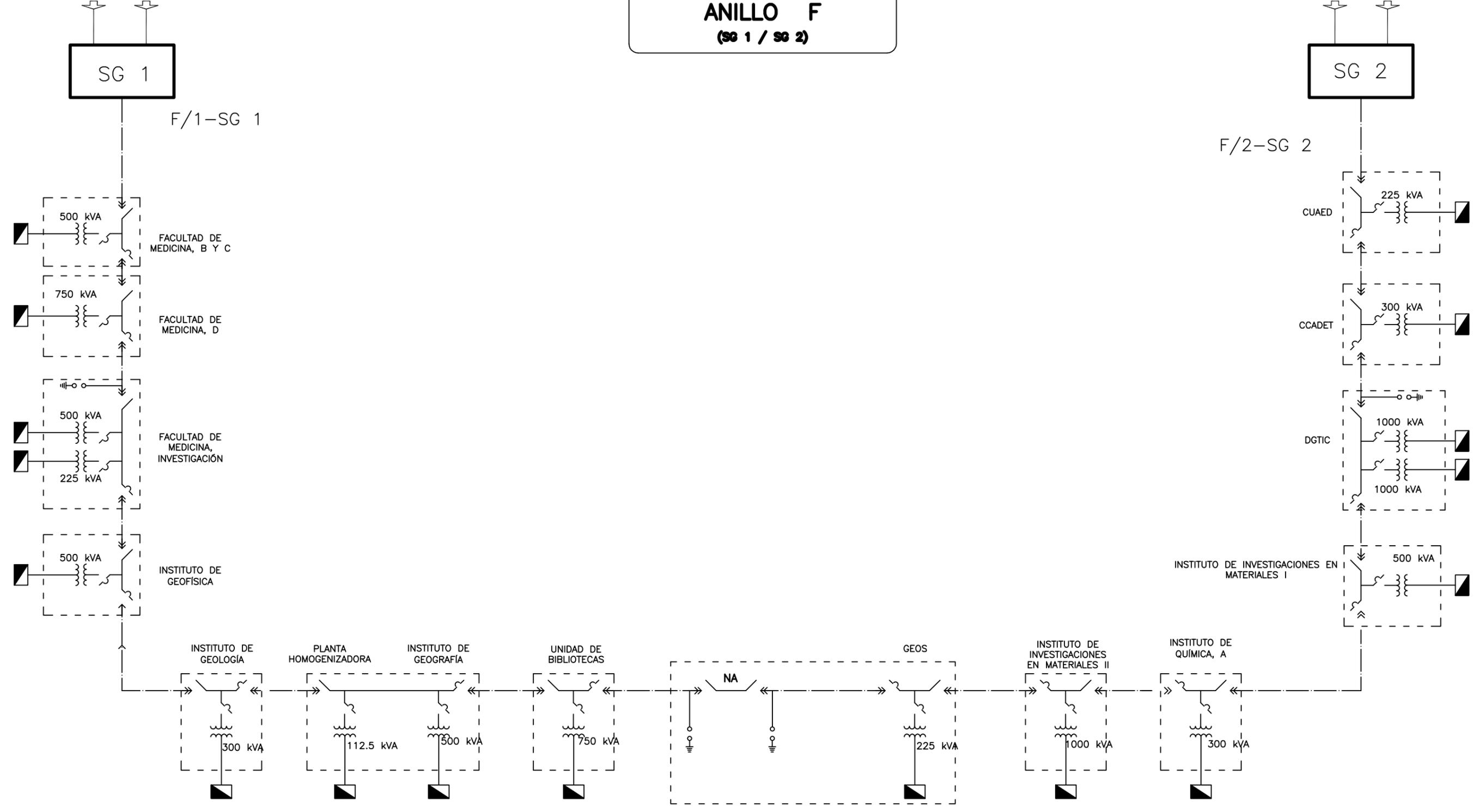


DIAGRAMA UNIFILAR ANILLO F (SG 1 / SG 2)

ALIMENTADOR PREFERENTE ODÓN DE BUEN (ODB 21) ALIMENTADOR EMERGENTE ODÓN DE BUEN (ODB 24)

ALIMENTADOR PREFERENTE ODÓN DE BUEN (ODB 24) ALIMENTADOR EMERGENTE ODÓN DE BUEN (ODB 21)

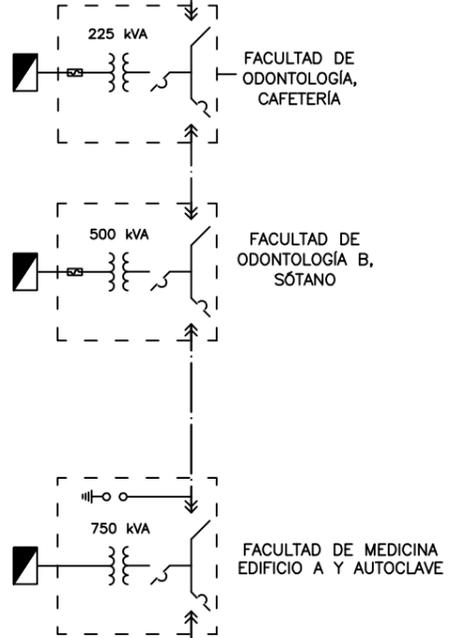


ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

SG 1

G/1-SG 1



**DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO G
(SG 1 / SG 2)**

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 24)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODÓN DE BUEN (ODB 21)

SG 2

G/2-SG 2

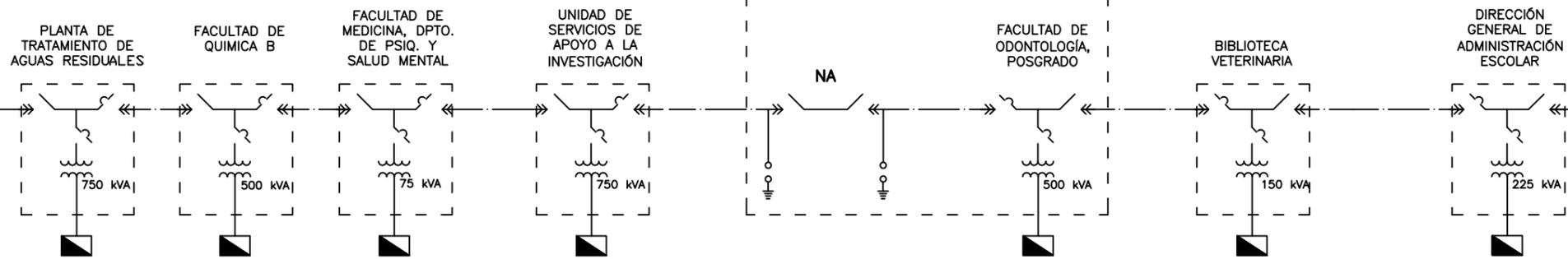
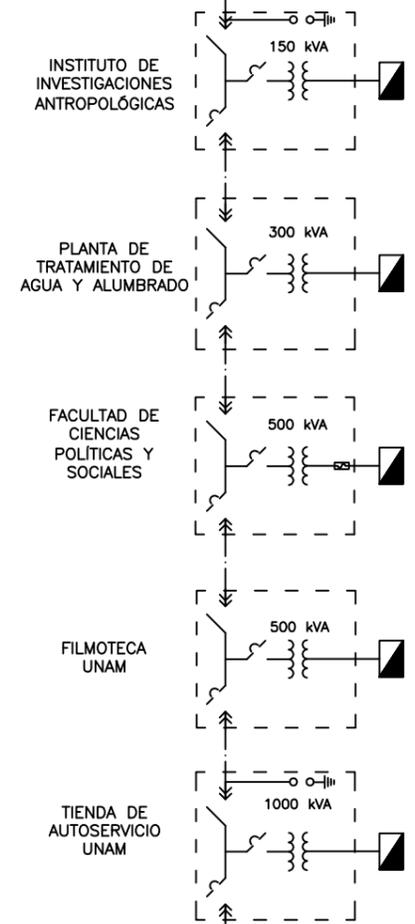
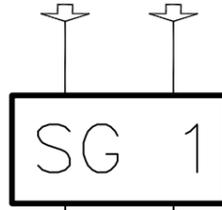


DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO H
(SG 1)

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODON DE BUEN (ODB 21)

ALIMENTADOR EMERGENTE
ODON DE BUEN (ODB 24)



H/1-SG 1

H/2-SG 1

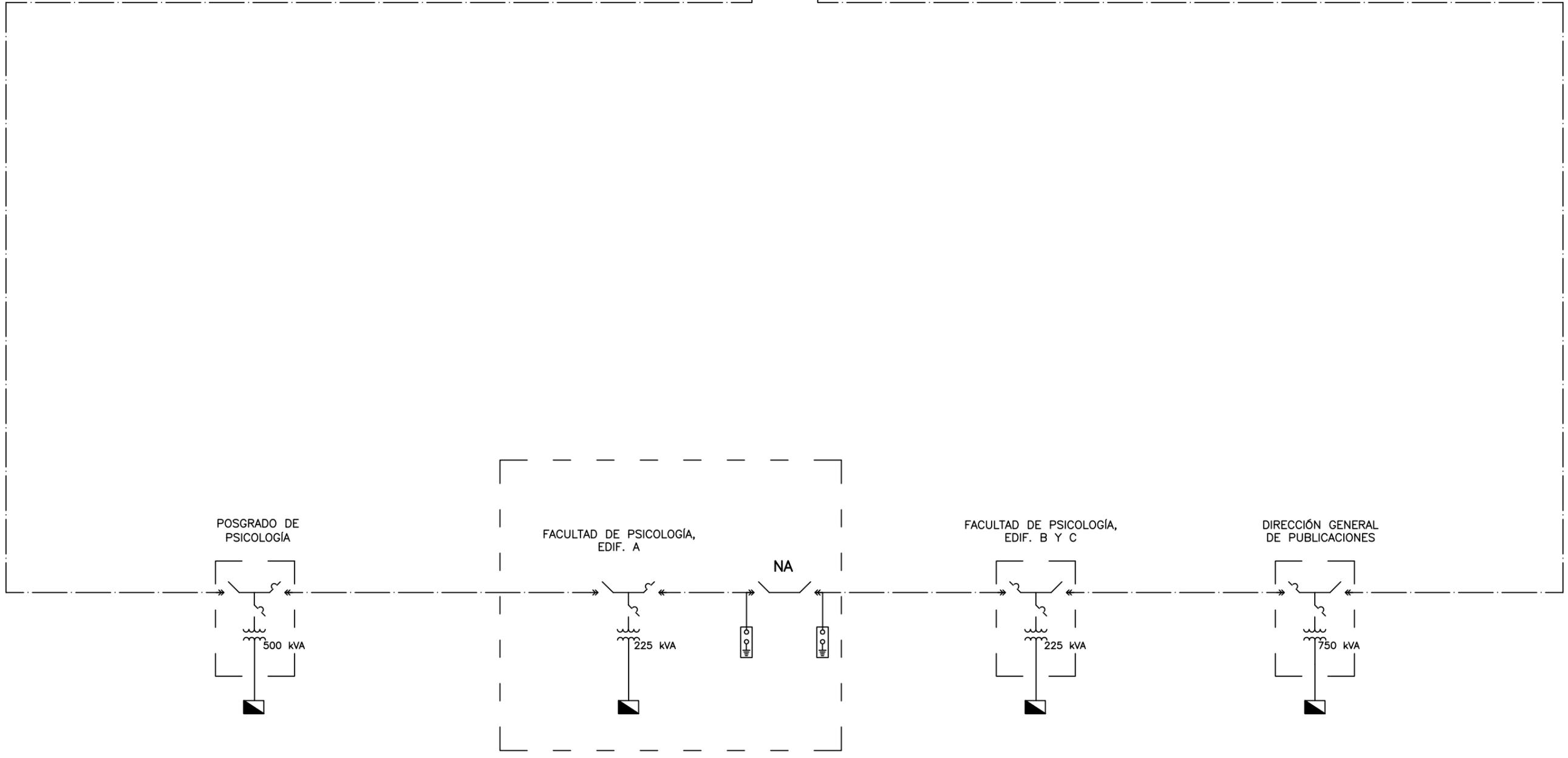
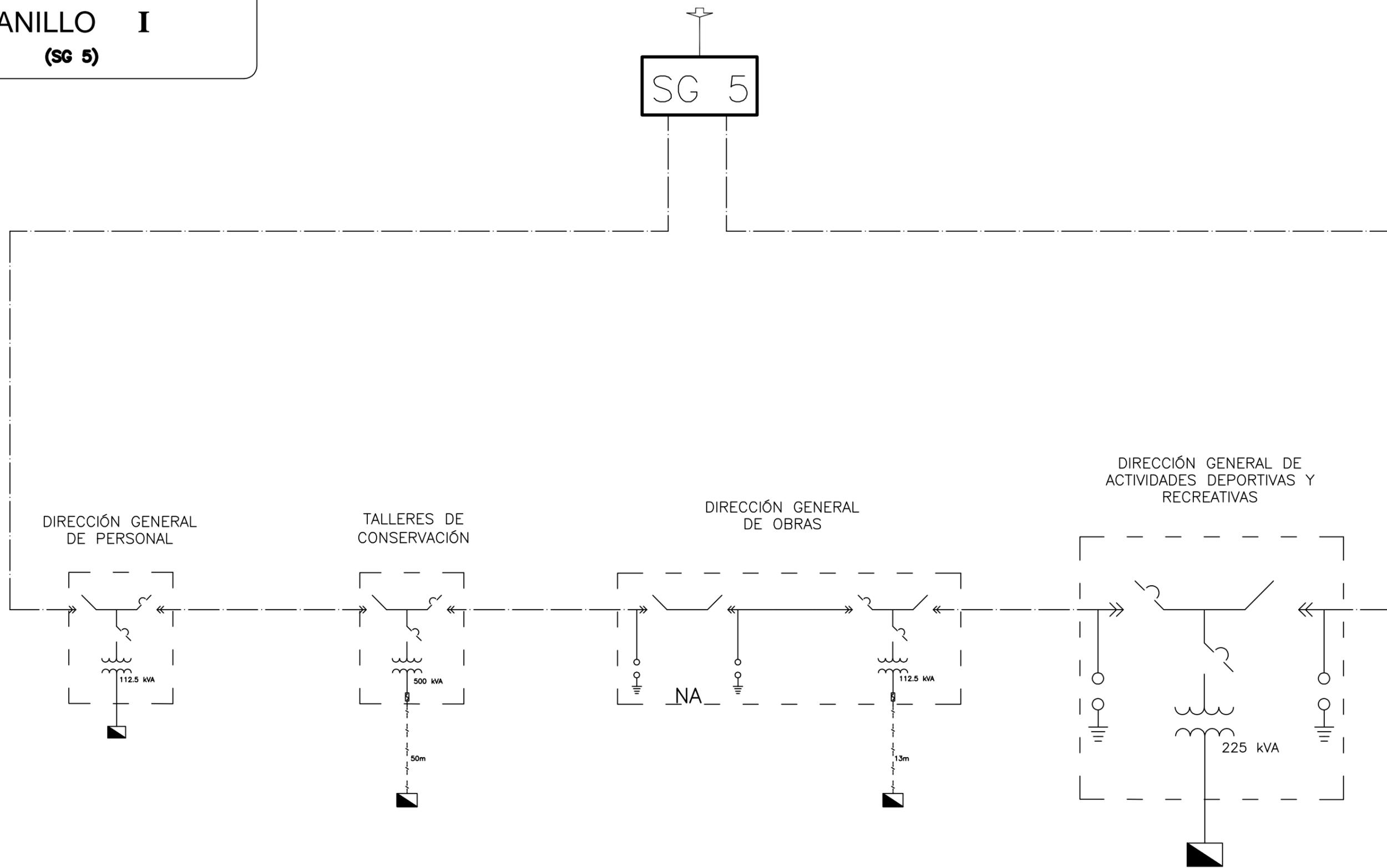


DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO I
(SG 5)



**DIAGRAMA UNIFILAR
ANILLO J
(SG 4)**

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODON DE BUEN (ODB 21) ALIMENTADOR EMERGENTE
ODON DE BUEN (ODB 24)

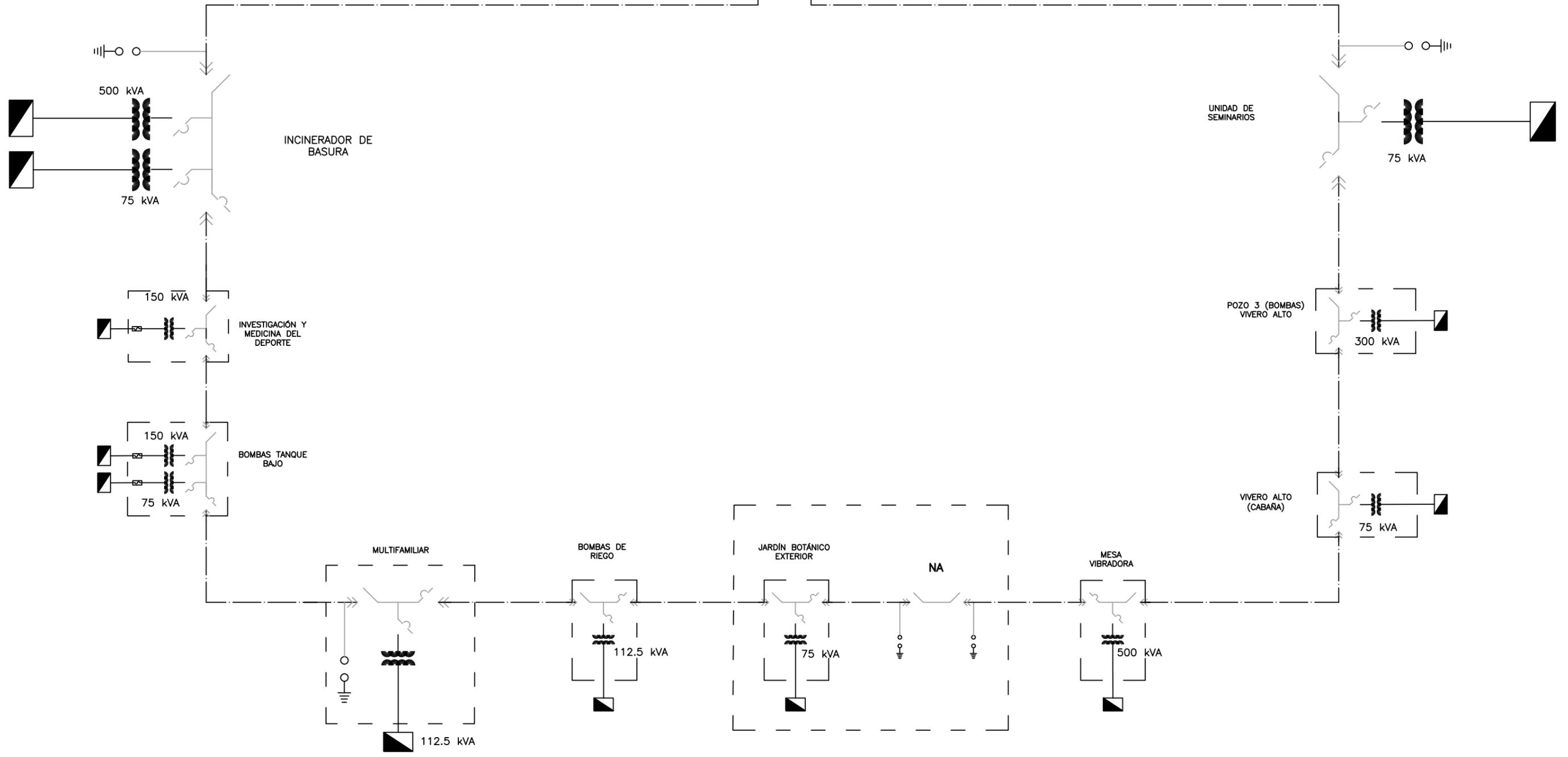
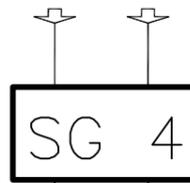
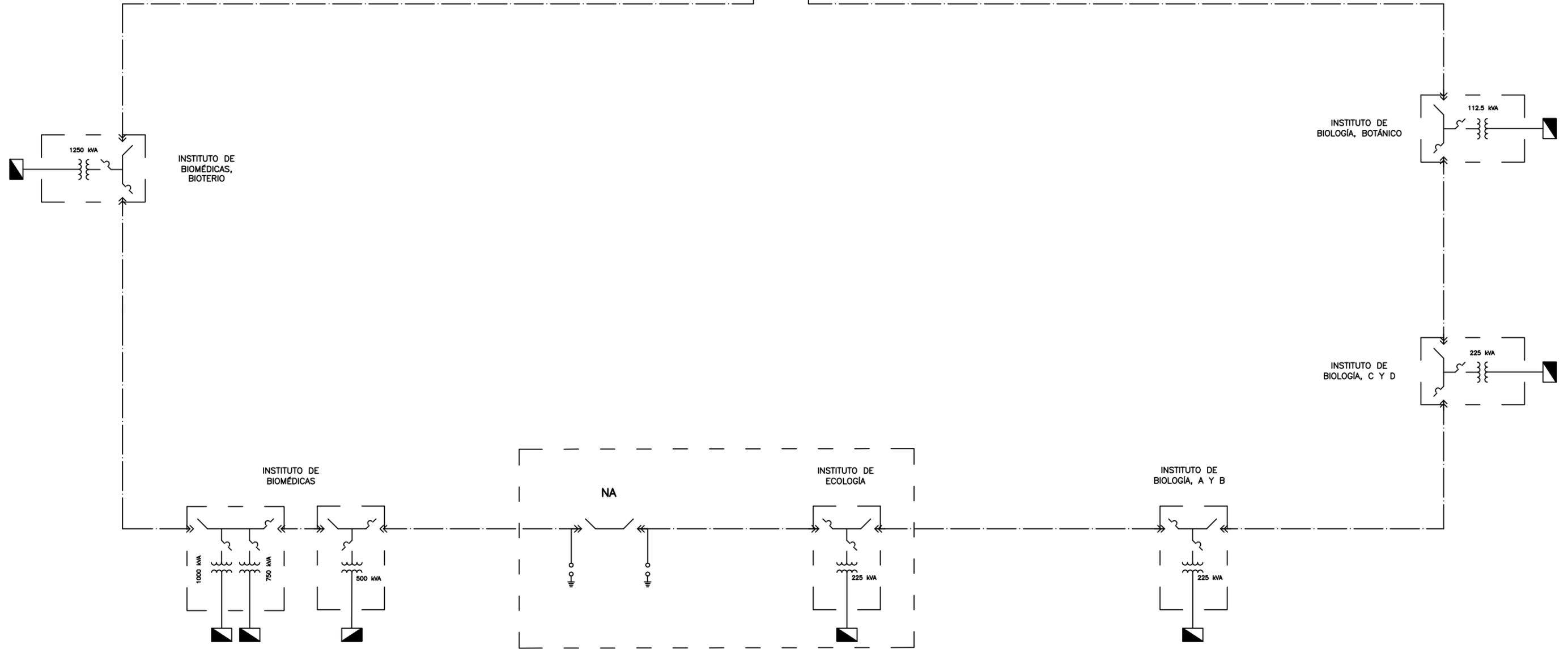


DIAGRAMA UNIFILAR ANILLO K (SG 4)

ALIMENTADOR PREFERENTE
ODON DE BUEN (ODB 21) ALIMENTADOR EMERGENTE
ODON DE BUEN (ODB 24)

SG 4



ANEXO 2. ACERVO FOTOGRÁFICO.







BIBLIOGRAFÍA.

Jacinto Viqueira Landa.

Redes Eléctricas tomo 1.

Sistemas de Eléctricos de Distribución.

Roberto A. Espinosa y Lara

NMX-J-098-ANCE. Sistemas Eléctricos de Potencia-Suministro-Tensiones Eléctricas Normalizadas

NMX-J-169-ANCE. Transformadores y autotransformadores de distribución y potencia-Métodos de prueba.

Transformadores para la industria eléctrica.

Bean, Chackan, Moore, Wentz.

Mc Graw Hill.

Diseño de Subestaciones Eléctricas.

Ing. José Raúl Martín

Facultad de Ingeniería.

Y se hizo la luz... en el porfiriato

2009-06-02 • IMPRESO CULTURA

Manual técnico de cables de energía.

condumex. cap. 9.

Generadores, motores y transformadores eléctricos.

Víctor Pérez Amador Barrón, Facultad de Ingeniería.

Tesis de “Pérdidas en transformadores dentro del campus de Ciudad Universitaria.”

Guillen cruz Jose Manuel, Moctezuma Romero Ituriel, Torres Ortega Arturo.

Tesis de “Pérdidas en conductores de la red de Distribución Subterránea en media tensión de 6 kv de ciudad universitaria”

Cortés García Mario Alberto, Osorno Rivera Wilfrido, Quiroz Juárez Carolina.

www.geimexico.org.