



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS INSTITUTOS DE
LA UNAM CON ESTRUCTURA EN ANILLO (ALIMENTADOR K).

TESIS

QUE PARA TENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

AREA:

SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

PRESENTA:

GONZÁLEZ BRAMBILA JUAN ADRIÁN

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Guillermo López Monroy.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



INDICE GENERAL.

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1.- ANTECEDENTES.

1.1.- Antecedentes de la Universidad Nacional Autónoma de México.

1.2.- Red de distribución de energía eléctrica de 6.6 kV en Ciudad Universitaria.

1.3.- La red de distribución de energía eléctrica de Ciudad Universitaria actualmente.

1.3.1.- Ubicación de las Subestaciones Generales del Sistema de Distribución de Ciudad Universitaria.

1.3.2.- Subestaciones Generales.

1.3.3.- Equipo y material utilizado.

Capítulo 2.- CONCEPTOS BÁSICOS.

2.1.- ¿Qué es un sistema eléctrico de potencia?

2.2.- ¿Qué es un sistema de distribución?

2.2.1.- Sistemas de distribución industriales.

2.2.2.- Sistemas de distribución comerciales.

2.2.3.- Parques Industriales.

2.2.4.- Sistemas de distribución urbanos y residenciales.

2.2.5.- Distribución rural.

2.2.6.- Sistema de distribución particular (UNAM).

2.3.- ¿Qué es una subestación eléctrica?

2.4.- Diagrama Unifilar.

Capítulo 3.- ESTRUCTURAS BÁSICAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

3.1.- Estructura radial.



3.2.- Estructura en anillo.

3.2.1.- Estructura en anillo abierto.

3.2.2.- Estructura en anillo cerrado.

Capitulo 4.- INSTITUTOS.

4.1.- Instituto de Biomédicas.

4.2.- Instituto de Ecología.

4.3.- Instituto de Biología.

Capitulo 5.- OBRA CIVIL.

Capitulo 6.- EQUIPOS UTILIZADOS.

6.1.- Cable aislado.

6.2.- Transformadores de distribución.

6.2.1.- Tipos de transformadores.

6.3.- Seccionadores de distribución.

6.4.- Relevadores y fusible de acometida.

Capitulo 7.- CALCULOS.

7.1.- Cálculo de coordinación de protecciones.

7.2.- Cálculo del sistema de puesta a tierra.

Capitulo 8.- PROYECTO ELÉCTRICO EN CIUDAD UNIVERSITARIA DE 23kV.

Capitulo 9.- CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.



CAPITULO 1. ANTECEDENTES.

1.1. Antecedentes de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En 1536 el arzobispo fray Juan de Zumárraga tuvo la iniciativa de formar una universidad en la Nueva España, a este hecho se le sumó el apoyo del virrey Antonio de Mendoza y la Corona dio una respuesta positiva en 1547. Sin embargo fue hasta el 21 de septiembre de 1551 cuando se expidió la Cédula de creación de la Real y Pontificia Universidad de México, en el centro Histórico de la Ciudad de México.



Real y Pontificia Universidad de México.

Su apertura fue el 25 de enero de 1553, se organizó a imagen de las universidades europeas de tradición escolástica, particularmente la de Salamanca. Más adelante en 1778 fue abierta la Real Escuela de Cirugía y en 1792 el Real Colegio de Minería. En 1794 fue establecida la Academia de San Carlos, para el estudio de la Bellas Artes.



Al finalizar la Guerra de Independencia, se eliminó el título de Real, ya que el rey de España dejó de tener soberanía en el país y se le dio el nombre de Universidad Nacional y Pontificia para que más adelante quedara con el nombre de Universidad Nacional.

Los liberales alrededor de los años de 1883, 1857, 1861 y 1865 cerraron la Universidad que según ellos hacía ejemplo del retroceso. Sin embargo existían establecimientos para el estudio de la ingeniería, la arquitectura, la teneduría de libros y la jurisprudencia, donde más adelante se incluyó la escuela de agricultura.

Los antecedentes inmediatos de la Universidad Mexicana moderna son presentados en el proyecto de Don Justo Sierra en la Cámara de Diputados el 11 de Febrero de 1881. El 7 de abril siguiente, lo refrendó ante la Cámara, con el apoyo de las diputaciones de Aguascalientes, Jalisco, Puebla y Veracruz. Desgraciadamente dicho proyecto no prosperó, sin embargo Don Justo Sierra no abandono la idea de establecer una Universidad Nacional en México. Don Justo Sierra incluyó, como partes integrantes de la nueva institución, a las escuelas de Bellas Artes, de Comercio y de Ciencias Políticas, de Jurisprudencia, de Ingenieros y de Medicina, a la Escuela Normal, a la de Altos Estudios y a la Escuela Nacional Preparatoria y la Secundaria de Mujeres. Fue hasta el 13 de Abril de 1902 que Don Justo Sierra presentó el nuevo proyecto en la apertura del Consejo Superior de Educación Pública y lo reiteró tres años más tarde ante el mismo organismo.

Gracias a que la Secretaria de Instrucción Pública quedó escindida de la antigua Secretaria de Justicia el proyecto de Don Justo Sierra adquirió mayor fuerza en el año de 1905. De esta manera Don Justo Sierra quedó como titular de la recién creada dependencia del Poder Ejecutivo. El 30 de Marzo de 1907, dentro del marco del centenario de la independencia, el presidente de la República anuncio que estaba de acuerdo con la apertura de la Universidad Nacional. Para que dicho



proyecto fuera hecho realidad, la secretaría envió al pedagogo Ezequiel A. Chavez a Europa y a los Estados Unidos, en tres ocasiones, para que analizara y estudiara el funcionamiento de varias universidades. De los estudios llevados a cabo por Ezequiel Chávez surgió el proyecto definitivo de la Universidad Nacional de México.

En abril de 1910, Don Justo Sierra presentó, la Ley Constitutiva de la Escuela Nacional de Altos Estudios, que formaría parte de la Universidad; después, el día 26 del mismo mes, el proyecto para la fundación de la Universidad Nacional. La nueva institución estaría constituida por las escuelas Nacional Preparatoria, de Jurisprudencia, de Medicina, de Ingenieros, de Bellas Artes en lo que concierne a la enseñanza de la arquitectura y de altos estudio. Después de que se aprobó el proyecto, el 22 de septiembre tuvo lugar la inauguración solemne de la Universidad Nacional de México. Fueron madrinas de la nueva Universidad Mexicana las de Salamanca, París y Berkeley.

El primer rector de la Institución fue Joaquín Eguía y Lis, a partir de esa fecha se convirtieron en universitarios los profesores y estudiantes de las escuelas nacionales ya existentes. Sin embargo existían las viejas guardias del positivismo ortodoxo quienes atacaban con repudio a la Universidad. Agustín Aragón y Horacio Barrera, desde las páginas de la Revista Positiva, atacaron a Don Justo Sierra por atentar contra el progreso del país, debido a que la Universidad era una institución de la etapa metafísica del desarrollo humano, la cual ya estaba superada en México.

Pero también había quien defendiera a la Universidad tal como el joven Antonio Caso, secretario de la Institución y presidente del Ateneo de la Juventud, asociación que se distinguió por su oposición al positivismo.



En 1944 se decidió que la Ciudad Universitaria fuera edificada en San Ángel. Para el último día del año de 1945 el Congreso de la Unión aprobó el Proyecto de Ley sobre la Fundación y Construcción de la Ciudad Universitaria. El 6 de abril de 1946 apareció en el diario oficial la ley sobre la Fundación y Construcción de la Ciudad Universitaria. En septiembre, en la misma fuente, se publicó el decreto de expropiación de los terrenos del Pedregal de San Ángel destinados a la Ciudad Universitaria.

El 11 de septiembre de 1946 siendo rector el Dr. Salvador Zubirán, se gestionó que el gobierno del General Ávila Camacho adquiriera los terrenos en cuestión, por medio del Decreto de Expropiación. Para lograr la realización de la Ciudad Universitaria el Dr. Zubirán constituyó la COMISIÓN DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA, de acuerdo con la Ley "Fundación y Construcción de CU".

Esta comisión presidida por el Rector estaba integrada por la propia Universidad, representada por el arquitecto Enrique del Moral; la Secretaría de Educación, por el Dr. Fernando Orozco, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, por el Lic. Emigdio Martínez Adame; el Distrito Federal, por el Arquitecto José Villagrán García. Para hacer el proyecto, la escuela de Arquitectura realizó un concurso de proyectos entre algunos profesores de la misma. Quienes destacaron fueron los trabajos de los Arquitectos Mario Pani y Enrique del Moral.

En 1947, el rector Zubirán organizó la Comisión Técnica Dictaminadora, en sustitución de la Comisión que había funcionado hasta el régimen del General Ávila Camacho. Esta comisión designó a los Arquitectos Enrique del Moral, Mario Pani y Mauricio M. Campos como directores y coordinadores del Proyecto Conjunto que tenían la facultad de designar a todos los arquitectos que se encargarían de los proyectos de las diversas facultades, escuelas e institutos.



En la participación de esta grande obra, destacan nombres como: Luis Barragán, Carlos Lazo, Juan O’Gorman, Enrique Yáñez, Pedro Ramírez Vázquez, Enrique de la Mora y José Villagrán García; además de artistas como Diego Rivera y David Alfaro Siqueiros.

De acuerdo con el programa general bajo el cual se rigió la Comisión Técnica Dictaminadora, el proyecto se dividió en 4 zonas fundamentales: Escolar, Práctica de Deportes, Estadio de Exhibición y Servicios Comunes.

- **Zona Escolar.** Tiene como elemento central el campus universitario, limitado por los edificios escolares, sirve como enlace a estos y como gigantesco patio que constituye el lugar de reunión de la comunidad universitaria. Se subdivide en los siguientes grupos de edificios:
 - a) Edificios de carácter general: inmediato a la avenida Insurgente se halla Rectoría, la Biblioteca Central y el Museo Universitario de Ciencia y Arte. Cuenta con varios accesos: el de honor inmediato a la avenida y los laterales, para la llegada de camiones y autobuses, con sus estacionamientos correspondientes. Pórticos adyacentes sirven tanto para su llegada como para alojar algunos comercios: librerías, papelerías, etc.



Biblioteca Central, Ciudad Universitaria.



b) Humanidades

Lo constituyen la Facultad de Filosofía y Letras, sus Institutos y las Escuelas de Jurisprudencia, Economía y Comercio y la de Ciencias Políticas.



Facultad de Filosofía, Ciudad Universitaria.

c) Ciencias: Constituido por la Facultad de Ciencias, Facultad de Química, Ingeniería, Instituto de Geología, de Energía Nuclear. En ese entonces la Torre de Ciencias dominaría el campus, situada en ese lugar para facilitar la interacción disciplinaria.



Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria



- d) Museo de Arte y Escuela de Arquitectura: formado por la escuela de Arquitectura, el Museo e Instituto de Arte y Teatro Experimental, en el lado sur.



Facultad de Arquitectura, Ciudad Universitaria.

- e) Ciencias Biológicas: Lo constituyen las Facultades de Medicina, Odontología, Veterinaria y Biología, originalmente no se habían considerado para el proyecto original.



Facultad de Medicina, Ciudad Universitaria.



- **Prácticas de deportes.** Debido a los desniveles y la forma del terreno limitado por la lava se proyectó un conjunto de plataformas a diversos niveles, limitadas por muros de contención y de diseño peculiar donde se situaron las canchas deportivas. Inmediatos a ellos están los respectivos edificios de vestidores y baños de hombres y mujeres, el lago artificial integrado por piscinas de aprendizaje de natación, competencias olímpicas, de wáter polo y de clavados, cuenta además con una amplia tribuna para el público. La plataforma en el nivel más alto y más cercano a Insurgentes se utilizó para colocar una cancha de fútbol rodeada de pistas de atletismo con tribuna.
- **Estadio de Exhibición.** El estadio con capacidad para 68 mil 954 espectadores, está situado frente la torre de Rectoría, y consiste en un anillo de circunvalación. El proyecto arquitectónico y la dirección estuvo a cargo de los arquitectos Augusto Pérez Palacios, Raúl Salinas Moro y Jorge Bravo Jiménez. Inició su construcción el 7 de agosto de 1950 y se inauguró el 20 de noviembre de 1952. Su fachada principal está decorada con un mural policromado en relieve, titulado “*La Universidad, la Familia Mexicana, y la Paz y la Juventud Deportista*”, obra del artista plástico mexicano, Diego Rivera. El Estadio Universitario modificó su nombre a Estadio Olímpico Universitario en 1968, al ser sede de los Juegos Olímpicos de ese año; siendo la UNAM la única Universidad en el mundo que ha albergado unos juegos Olímpicos.



Estadio Olímpico Universitario.

Vista aérea del Estadio Olímpico Universitarios





- **Servicio Generales.** Comprende edificios de vital importancia para el funcionamiento general de la universidad como talleres, almacenes, bodegas, incineradores, servicios de vigilancia y conservación.

Para el año de 1954 se hizo la entrega formal de la Ciudad Universitaria a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al inicio Ciudad Universitaria tenía una extensión de 2 millones de metros cuadrados, actualmente es de 6 millones, incluyendo la reserva ecológica y el Estadio Olímpico; dicha extensión es más de lo que miden muchas ciudades importantes en Europa e incluso algunos países pequeños como el Vaticano o Mónaco. Esto se debió a que la demanda estudiantil ha aumentado en forma exponencial, teniendo que construir nuevos edificios para la impartición de clases y para la investigación.

Actualmente Ciudad Universitaria cuenta con una población estudiantil de cerca de 204,834 alumnos de licenciatura y posgrado y alrededor de 36,679 académicos; aloja cerca de 2,098 edificios de los cuales, 139 son bibliotecas con más de 6 millones de libros, una sala de conciertos, una Biblioteca Central y otra Nacional, un espacio escultórico de proporciones colosales y el Estadio Olímpico Universitario México 68, con capacidad de 68 mil 954 espectadores.

En el año 2005 la Ciudad Universitaria fue catalogada como Monumento Histórico Nacional y en el 2007 Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO.

Dentro de los factores indispensables en la construcción de la Ciudad Universitaria fue el diseño, construcción y puesta en marcha de la Red de Distribución de Energía Eléctrica Subterránea de Ciudad Universitaria.



1.2. Red de distribución eléctrica de 6 kV en Ciudad Universitaria.

La proyección de la red de distribución de energía eléctrica en Ciudad Universitaria fue proyectada por ingenieros universitarios como: Carlos Lucas Marín, Antonio Macías de Mier y Roberto Brown Brown entre otros, que estaban bajo el mando del Ing. Luis Mascott López. Cuyo objetivo era el de brindar el servicio eléctrico a la comunidad universitaria con una máxima eficiencia.

Al principio la red estaba constituida por una subestación principal de 5 MVA que estaba formada por dos transformadores de 2.5 MVA cada uno y con una tensión de 23 kV a 6.6 kV. La energía provenía de la Compañía de Luz y Fuerza Motriz S.A. por medio de dos alimentadores aéreos de 23 kV que venían de las Subestaciones Taxqueña y Olivar del Conde.

La red de 6.6 kV constaba de tres alimentadores (A, B y C), en donde se utilizó cable subterráneo tripolar con aislamiento en aceite de un calibre de 250 kCM, tenía una configuración en anillo abierto, esta estructura permitiría en cualquier caso de falla poder restablecer el servicio rápidamente.

Al avanzar el tiempo se construyó el estadio olímpico universitario y con motivo de los Juegos Olímpicos de 1968, la demanda de energía eléctrica aumento, teniendo que aumentar el número de alimentadores de la red, agregando así los alimentadores D y E e igualmente en una configuración de anillo abierto.

Conforme los años aumentaron, la demanda estudiantil en Ciudad Universitaria fue directamente proporcional, provocando la creciente construcción de nuevos edificios donde se pudiera alojar a la comunidad estudiantil, por esta razón se modificó la subestación principal cambiando los transformadores por dos de mayor



capacidad, 7.5MVA de 23kV-6.6kV cada uno, para poder satisfacer la demanda existente y además teniendo un margen de reserva.

Con el fin de liberar el exceso de carga a la Subestación General No.1, se llevó a cabo la construcción de la Subestación General No.2 debido a la edificación de nuevos Institutos, Facultades y Centros de Investigación. En esta subestación se instalaron dos transformadores de 5 MVA de 23kV-6.6kV cada uno. En esta subestación solo operaba un solo transformador y en caso de alguna falla o mantenimiento, se contaba con el otro transformador de respaldo. Cuenta con cinco alimentadores, cuatro de ellos en una configuración en anillo abierto, formando dos anillos y un alimentador que funciona como enlace entre la Subestación General No.1 y la Subestación General No.2.

Actualmente las Subestaciones Generales No. 1 y 2 son energizadas por la Comisión Federal de Electricidad mediante alimentadores aéreos que provienen de la Subestación Eléctrica de distribución Odón de Buen.

1.3. La red de distribución de energía eléctrica en Ciudad Universitaria actualmente.

1.3.1. Ubicación de las Subestaciones Generales del Sistema de Distribución de Ciudad Universitaria.

Actualmente en la red eléctrica de Ciudad Universitaria existen cinco subestaciones generales ubicadas en distintos puntos de la misma. La Subestación General No.1 se encuentra ubicada en la parte norte de Ciudad Universitaria, a un costado de la Facultad de Psicología y la Subestación General No.2 está ubicada en el circuito exterior, frente a la Escuela Nacional de Trabajo Social. Estas dos subestaciones tienen una tensión de distribución de 6.6 kV.



La Subestación General No. 3, ubicada en la avenida del Imán, la Subestación General No.4 localizada frente al edificio del Instituto de Investigaciones Biomédicas, la Subestación General No.5, ubicada a un costado del edificio de Relaciones Laborales y por último la Subestación General No.6 que alimenta de energía al Estadio Olímpico. Estas tres subestaciones tienen una tensión de distribución de 23 kV.

La configuración actual de la topología de la Red Eléctrica de Distribución corresponde a un sistema de anillos abiertos para proporcionar mayor confiabilidad debido a su configuración, ya que en caso de falla alguna sección, el servicio puede ser restablecido rápidamente. Además de contar con dos alimentadores en configuración radial.



Ciudad Universitaria



1.3.2. Subestaciones Generales.

Como ya se había mencionado antes, la red está conformada por las Subestaciones Generales No. 1, 2, 4 y 5; en el caso de las Subestaciones Generales No. 1 y 2 se derivan 8 alimentadores, 7 de ellos forman una topología de anillo abierto con doble fuente de alimentación, mientras que el alimentador restante tiene una topología de anillo abierto con una sola fuente de alimentación. Para el caso de la Subestación General No. 4 se derivan 4 alimentadores y para la Subestación General No.5 se derivan 2 alimentadores, formando una topología de anillo abierto con una sola fuente en cada una de ellas.

Se debe aclarar que el punto normalmente abierto se encuentra en el punto donde las cargas están parcialmente equilibradas. Así mismo, la selección de las capacidades de los transformadores nuevos, se realizó en base a estudios de demanda máxima medidos en cada una de las Subestaciones Derivadas que conforman la red, dando un factor de crecimiento de 150% a 50 años.

Un aspecto importante del diseño de la nueva red es que, a diferencia de la red actual, los seccionadores se encuentran instalados junto con los transformadores dentro de los locales que albergan los equipos de media tensión. Las Subestaciones Derivadas están divididas por seguridad en media tensión y baja tensión, esto con la finalidad de tener un mayor control al operar el cierre y apertura del seccionador por parte del personal encargado de mantenimiento de las Subestaciones Derivadas, impidiendo con ello el ingreso de personal ajeno al Sistema de Distribución.

El acceso a las Subestaciones Derivadas es controlado en su totalidad por los encargados de mantenimiento de cada dependencia donde se encuentran instaladas y no por el personal especializado en el mantenimiento del equipo de media tensión, lo que provoca que no se tenga un control adecuado del acceso; teniendo como consecuencia que, en la mayoría de los casos, se utilice como



bodega donde se almacenan: cristales, tablonés, papel, equipo de cómputo obsoleto, detergentes, etc.



Subestación derivada utilizada como bodega.

Por esta razón se decidió independizar la parte del equipo de media tensión del de baja tensión por medio de un muro, dejando el manejo de la baja tensión al personal de mantenimiento de cada dependencia, y la media tensión al personal especializado de la operación y mantenimiento de esta. En algunos casos se reubicaron las Subestaciones Derivadas (media tensión) debido a que no era factible ubicar el equipo nuevo dentro del mismo local debido a espacio insuficiente, accesibilidad, etc.

Otro factor importante en el diseño de la nueva red, es que los anillos no solamente se diseñaron en base a un balance de cargas, sino que también a la cercanía que tienen las Subestaciones Derivadas que alimenta cada anillo.



1.3.3. Equipo y material utilizado.

El equipo y material eléctrico instalado actualmente en la Red de Distribución Subterránea en Media Tensión de Ciudad Universitaria son: conductores, equipo de seccionamiento, equipo de protección y subestaciones derivadas; mismos que se describen a continuación.

- **Conductores.** Es un cable subterráneo tripolar con conductor de cobre suave calibre 250 kCM con aislamiento de papel impregnado en aceite clase 8 kV, para la alimentación troncal de la Subestación General No.1, mientras que para la alimentación troncal de la Subestación General No.2 se tiene un cable subterráneo monopolar con conductor de cobre suave calibre 350 kCM y aislamiento de EPR al 100% clase 8 kV. Para los alimentadores derivados se tiene un cable monopolar o tripolar con conductor de cobre suave calibre 4/0 AWG con aislamiento de papel impregnado en aceite o con aislamiento EPR, para la Subestación General No.1 y 2; respectivamente. Para las Subestaciones Generales No. 4 y 5 se tiene un cable monopolar con conductor en cobre calibre 4/0 AWG con aislamiento en XLPE al 100% de nivel de aislamiento, clase 25 kV.

El estado físico de los cables es relativamente bueno, considerando que tienen un tiempo de servicio de 50 años en los alimentadores provenientes de la Subestación General No.1; y de 30 años para los conductores de la Subestación General No.2. Sin embargo, la instalación de los mismos en ductos y registros es mala, por ejemplo: cables aislados en aceite literalmente sumergidos en agua, varios cables en un mismo ducto, otros con un radio de curvatura sumamente corto lo que daña al cable mecánicamente disminuyendo la vida útil del mismo, etc.



Cable tripolar con aislamiento de papel impregnado de aceite.

- **Equipo de seccionamiento.** Se cuenta con seccionadores tipo sumergible con aislamiento en aceite mineral clase 7.5 kV.

El estado físico de este equipo es malo ya que muchos presentan fuga de aceite, las conexiones no están hechas de forma adecuada, algunos se encuentran sumergidos en agua teniendo peligro de corto circuito al no ser un equipo sumergible, al igual que los cables algunos seccionadores tienen un tiempo de servicio de 50 años, etc.



Seccionador trifásico de 3 vías con aislamiento en aceite mineral.



- **Equipo de protección.** Se cuenta con interruptores en pequeño volumen de aceite la mayoría con un tiempo de servicio de 50 años, debido a esto presentan fugas de aceite, el equipo está muy deteriorado y actualmente están fuera de norma, debido al peligro que se presenta cuando se requiere hacer una libranza o alguna maniobra. En Ciudad Universitaria se han presentado casos en los cuales han explotado, incluso volando las tapas de concreto de los registros.
- **Subestaciones Derivadas.** Dentro del campus universitario existen subestaciones, en su mayoría tipo interior y en algunos casos de tipo pedestal, que alimentan a las distintas dependencias; el estado físico de las subestaciones es relativamente bueno, cuentan con cuchillas desconectadoras, apartarrayos, interruptores de apertura con carga, fusibles tipo expulsión o limitadores de corriente, así como transformadores con aislamiento en aceite, azkarel y otros tipo seco de distintas capacidades. Sin embargo, en algunas subestaciones no se cuenta con un sistema de puesta a tierra adecuado para la protección del personal como del equipo eléctrico; así mismo, debido a que la mayoría de las subestaciones se encuentran localizadas dentro de locales propios de la dependencia son ocupados como bodegas, lo que esta fuera de norma, por lo que no se tiene control adecuado del personal que ingresa a las subestaciones poniendo en riesgo su vida.

A manera de resumen, la mayoría del equipo eléctrico instalado en la red data de poco más de 50 años, por lo que no se tiene la suficiente confiabilidad en su operación y mantenimiento lo que repercute en un servicio discontinuo y de baja calidad, además de poner en riesgo al personal encargado de la operación y mantenimiento.



CAPITULO 2. CONCEPTOS BÁSICOS.

2.1.- ¿Qué es un sistema eléctrico de potencia?

Las plantas que generan la energía eléctrica se encuentran alejadas de los centros de consumo y están conectadas a estos a través de una red de alta tensión, aunque algunas plantas generadoras pueden estar conectadas directamente al sistema de distribución.

La tensión se eleva a la salida de los generadores para realizar la transmisión de energía eléctrica en forma económica y se reduce en la proximidad de los centros de consumo para alimentar el sistema de distribución a una tensión adecuada. Esta alimentación puede hacerse directamente desde la red de transmisión, reduciendo la tensión en un solo paso al nivel de distribución, o a través de un sistema de subtransmisión o repartición, utilizando un nivel de tensión intermedio.

La elevación y la reducción de la tensión y la interconexión de los distintos elementos del sistema se realizan en las subestaciones eléctricas, que constituyen los nodos de la red cuyas ramas están compuestas por las líneas.

A todo lo anterior se puede reducir a que un sistema eléctrico de potencia es el conjunto de subsistemas eléctricos que se encargan de generar, transmitir y distribuir respectivamente la energía eléctrica con parámetros de calidad aceptables tanto a países enteros, ciudades, industrias, universidades y a todo aquello que requiera energía eléctrica para funcionar.

En la siguiente figura se muestra el proceso con el cual se distribuye la energía eléctrica en los centros de consumo, desde el lugar de generación, transmisión y distribución respectivamente.

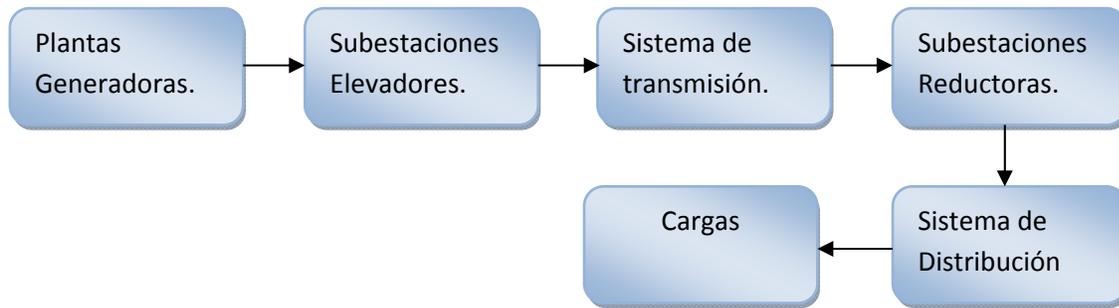


Diagrama a bloques de un Sistema Eléctrico de Potencia.

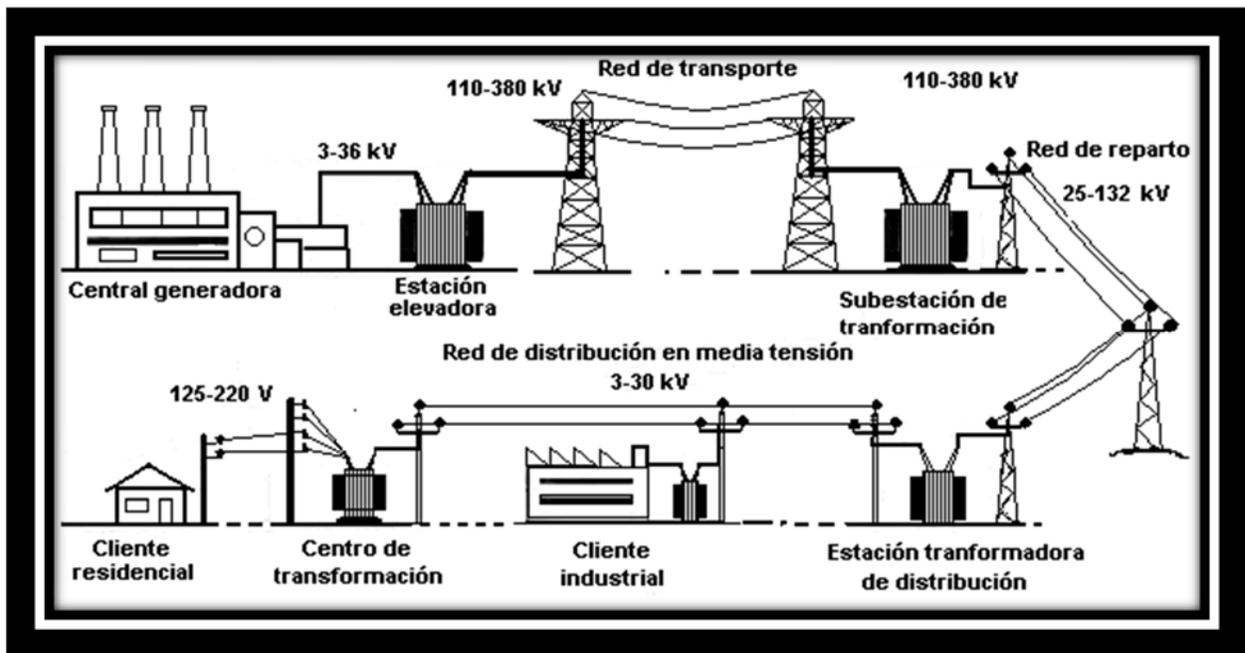


Diagrama esquemático de un Sistema Eléctrico de Potencia

En este caso nos enfocaremos al estudio del sistema de distribución en media tensión de Ciudad Universitaria.



2.2.- ¿Qué es un sistema de distribución?

Un sistema de distribución eléctrica es un conjunto de equipos eléctricos, mecánicos e instalaciones (transformadores, cables, seccionadores, interruptores, etc.), que se encargan de suministrar la energía eléctrica desde una subestación de potencia a los centros de consumo. Es decir, es un conjunto de instalaciones que abarcan tensiones desde 120 V hasta 34.5 kV.

Aquí en México se manejan niveles de distribución de 34.5 kV, 23kV y 13.5 kV para media tensión y para baja tensión de 480 V y 220 V.

Un sistema de distribución es uno de los componentes más importantes de los sistemas eléctricos. Cualquier empresa que venda energía eléctrica, esta pasa por un sistema de distribución y por ello es muy importante el buen diseño y enfoque de dichos sistemas.

Las inversiones que se realizan en el área de los sistemas de distribución dentro de cualquier empresa de suministro de energía eléctrica, comparado con las inversiones que se efectúan en las áreas de generación y transmisión, son significativamente mayores.

Se debe mencionar que algunas empresas privadas tienen sus propios sistemas de distribución privados, como en grandes predios comerciales o industriales.

Los sistemas de distribución se pueden clasificar en cinco campos principales de desarrollo dependiendo de los métodos de operación, las estructuras de las redes y del equipo que se utilice. Esta clasificación está dada en el siguiente orden:

- Sistemas de distribución industriales.
- Sistemas de distribución comerciales.
- Parques Industriales.



- Distribución urbana y residencial.
- Distribución rural.
- Sistema de distribución particular (UNAM).

2.2.1.- Sistemas de distribución industriales.

Estos representan a grandes consumidores de energía eléctrica, como plantas petroquímicas, de acero, de papel y otros procesos industriales similares. Estos sistemas en particular deben de ser alimentados a una tensión mayor, es decir de 85 kV o incluso mayor. El consumo de estas industrias equivale al de una ciudad pequeña y en algunos casos ellas mismas generan su propia energía por medio de sus procesos de vapor, diesel o gas, según el caso.

En estos casos el papel de la ingeniería de distribución juega un papel muy importante debido en tanto al alto costo que puede ocasionar una interrupción de energía, se debe mencionar que dentro de las diferentes industrias existe una gran variedad de tipos de carga y de ahí se desprende el grado de confiabilidad que cada una de ellas requiere.



Industria petroquímica Castrol.

2.2.2.- Sistemas de distribución comerciales.

Estos sistemas se desarrollan para grandes complejos comerciales o municipales como rascacielos, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, etc. Estos sistemas tienen sus propias características debido al tipo de demanda de energía que requieren con respecto a la seguridad de las personas o del inmueble. Para estos casos se cuenta con generación local, en forma de plantas generadoras de emergencia, estas plantas son importantes a la hora del diseño de la alimentación en este tipo de servicios.



2.2.3.- Parques industriales.

Esta clasificación se refiere a la alimentación en zonas definidas denominadas parques industriales, a pequeñas o medianas industrias localizadas por lo general en los centros urbanos o fuera de la ciudad. En este caso los requisitos de continuidad no son tan estrictos como los anteriores. La alimentación es en media tensión por lo que el desarrollo de las redes de baja tensión es mínimo. La planeación de estos sistemas debe tener una gran flexibilidad debido a la expansión en estas zonas, en especial en zonas nuevas en países de desarrollo. En la mayoría de los casos estos sistemas los desarrollan y operan las compañías suministradoras estatales.



2.2.4.- Sistemas de distribución urbanos y residenciales.

Estos sistemas de la misma manera que los anteriores son responsabilidad de las compañías suministradoras de energía eléctrica y en la mayoría de los casos consisten en grandes redes de cables subterráneos o aéreos desarrollados en zonas densamente pobladas. Se debe notar que en grandes centros urbanos las cargas son considerables, pero nada comparado con cargas industriales. Las estructuras de alimentación para estas zonas son distintas y los criterios con los que se debe diseñar son exclusivos para ese tipo de cargas.

2.2.5.- Distribución rural.

Este tipo de sistemas es el que tiene la densidad de carga más bajo y por ello se necesitan soluciones especiales que incluyan tanto las estructuras como los equipos. En ocasiones es recomendable generar la energía en la misma zona ya que las grandes distancias y las cargas tan pequeñas representan un costo por kW-h muy elevado.

Para un correcto diseño de un sistema de distribución de se debe de tener en mente muchos aspectos no solo de ingeniería eléctrica sino también de mecánica y civil, lo que hace cada vez más frecuente el empleo de métodos de ingeniería de sistemas y administración. Se debe recalcar que un ingeniero de distribución requiere del conocimiento amplio de varias disciplinas para el desempeño de su función.

2.2.6.- Sistema de Distribución Particular (UNAM).

En el caso del sistema de distribución particular de la UNAM es un sistema de distribución subterránea, donde la densidad de carga es considerable y de gran importancia debido a los distintos Institutos que la integran. La red eléctrica de Ciudad Universitaria tiene poco más de 50 años de servicio por lo que se ha necesitado a parte de una renovación del sistema (Nuevo Proyecto Eléctrico en

CU) un margen en el crecimiento de esta, teniendo en cuenta el progreso que ha mostrado la UNAM en la integración de nuevos Institutos por lo que su densidad de carga ha ido en aumento. Este sistema particular de la UNAM está conformado por un sistema de anillos abiertos que proporcionan una gran confiabilidad.

2.3.- ¿Qué es una subestación eléctrica?

Una subestación eléctrica es un conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia cuya función es transformar tensiones (elevadoras y reductoras) y derivar circuitos de potencia.



Las subestaciones eléctricas se pueden denominar de acuerdo al tipo de función que realicen, como:

- a) Subestaciones variadoras de tensión.
- b) Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- c) Subestaciones mixtas (mezcla de las dos anteriores).

Las subestaciones eléctricas se pueden agrupar de acuerdo a la potencia y tensión que manejan, como:



- a) Subestaciones de transmisión. (Arriba de 230kV).
- b) Subestaciones de subtransmisión. (Entre 230kV y 115kV).
- c) Subestaciones de distribución primaria. (Entre 115kV y 23kV).
- d) Subestaciones de distribución secundaria. (Debajo de 23kV).

Dependiendo de la forma en la que se alimente una subestación eléctrica se puede lograr fijar su tensión de acuerdo a lo siguientes factores:

- a) Si la subestación es alimentada en forma radial, la tensión se puede fijar en función de la potencia de la misma.
- b) Si la subestación proviene de un anillo, la tensión queda fija por la misma del anillo.
- c) Si la alimentación se toma de una línea de transmisión cercana, la tensión de la subestación queda obligada por la tensión de la línea.

2.3.1.- Diagrama Unifilar.

Un diagrama unifilar de una subestación eléctrica es la representación de conectar en forma simbólica y a través de un solo hilo todo el equipo que forma parte de la instalación, considerando la secuencia de operación de cada uno de los circuitos.

Existen distintos tipos de diagramas unifilares para una subestación eléctrica, la elección de este depende de las características de cada sistema eléctrico y de la función que realiza dicha subestación en el sistema.



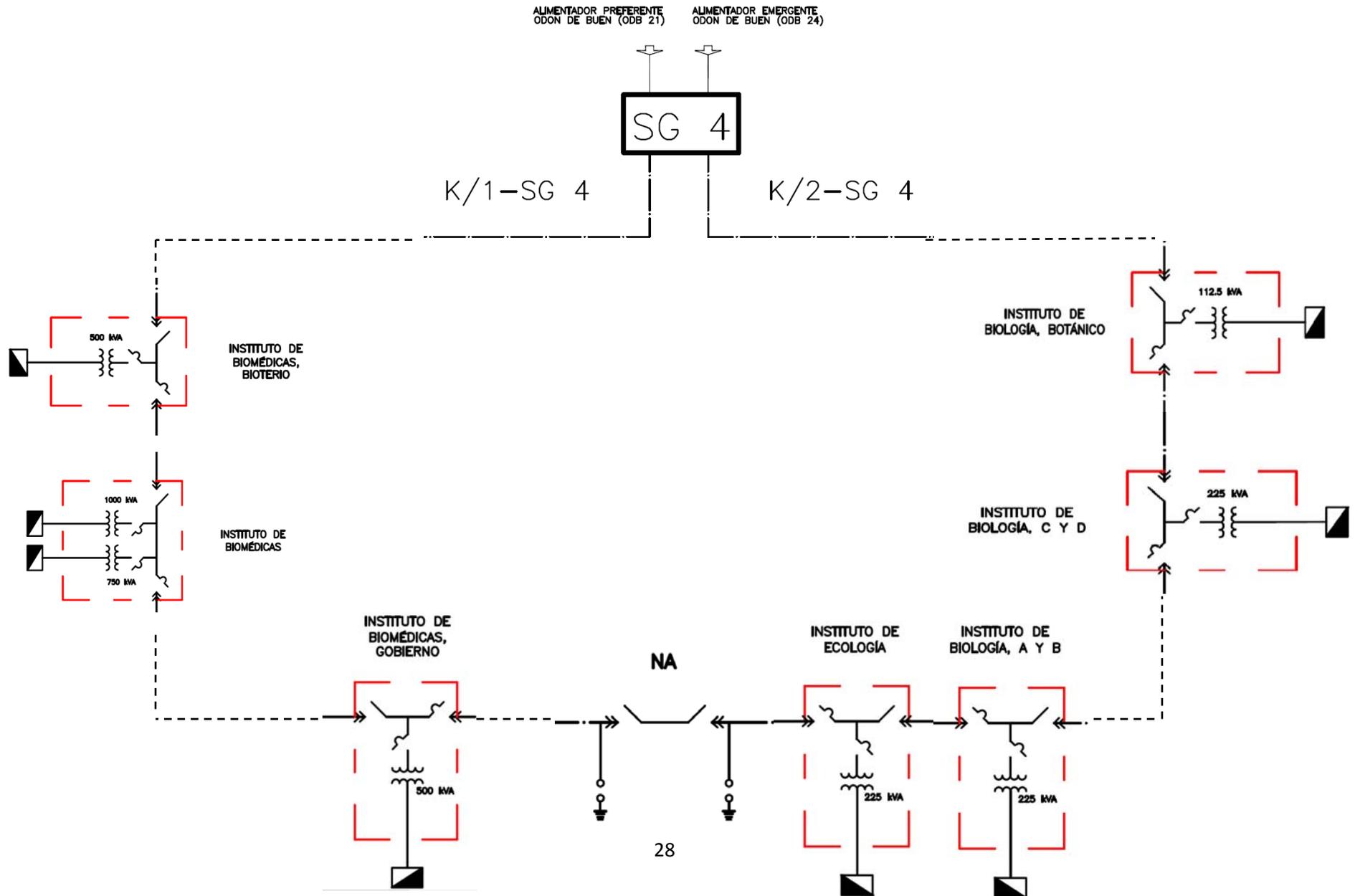
Cada diagrama determina en gran parte el costo de la instalación y así mismo la adquisición de mayor área de terreno.

Los criterios que se utilizan para seleccionar el diagrama unifilar más adecuado y económico de una instalación, son los siguientes:

- a) Continuidad de servicio.
- b) Versatilidad de operación.
- c) Facilidad de mantenimiento de los equipos.
- d) Cantidad y costo del equipo eléctrico.



Diagrama unifilar del anillo K, Ciudad Universitaria.





CAPITULO 3. ESTRUCTURAS BÁSICAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

Los sistemas de distribución se pueden desarrollar en estructuras diversas. La estructura de la red de distribución depende de gran medida de los parámetros que intervengan en la planeación de la red, tanto para baja y mediana tensión. Dichos parámetros pueden ser:

- Densidad.
- Tipos de cargas:
 - Residencial.
 - Comercial.
 - Industrial.
 - Mixta.
- Localización geográfica de la carga.
- Área de expansión de la carga.
- Continuidad de servicio.

Una parte muy importante a la hora de la decisión del tipo de construcción y el tipo de estructura que va a ser utilizada en el sistema de distribución depende considerablemente de la calidad de servicio que se desee, pudiendo dividir ésta en dos partes fundamentales:

- ✓ Continuidad de servicio.
- ✓ Regulación de tensión.

Existen dos topologías fundamentales de redes de distribución:

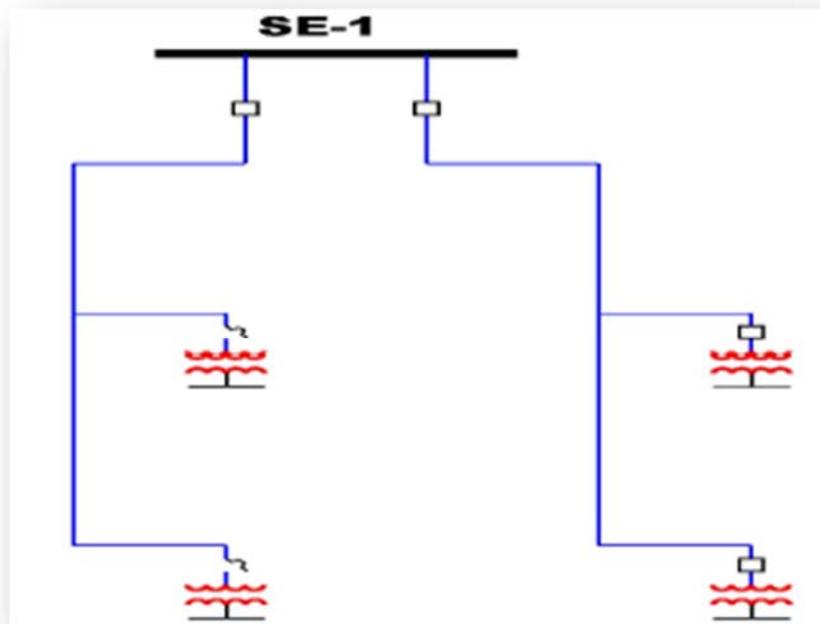
- Radial.
- Anillo.



3.1.- Estructura radial.

Esta estructura es la más sencilla siendo así la más económica y utilizada en zonas donde la densidad de carga es baja o mediana. Recibe el nombre de radial debido a que los alimentadores primarios salen de la subestaciones de distribución de forma radial y así alimentando a los transformadores de distribución para abastecer de energía a los usuarios mediante los alimentadores secundarios. Sin embargo en cuanto a continuidad de servicio se encuentra limitada a una sola fuente y alguna falla en algún elemento en serie (cuchillas, fusibles, interruptores, etc.) interrumpirá el servicio.

Estructura radial

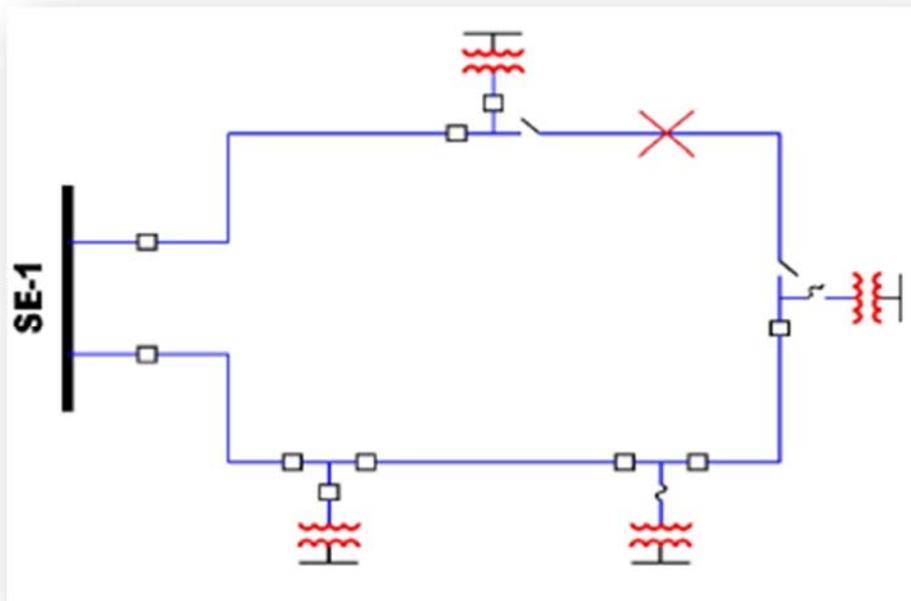


3.2.- Estructura en anillo.

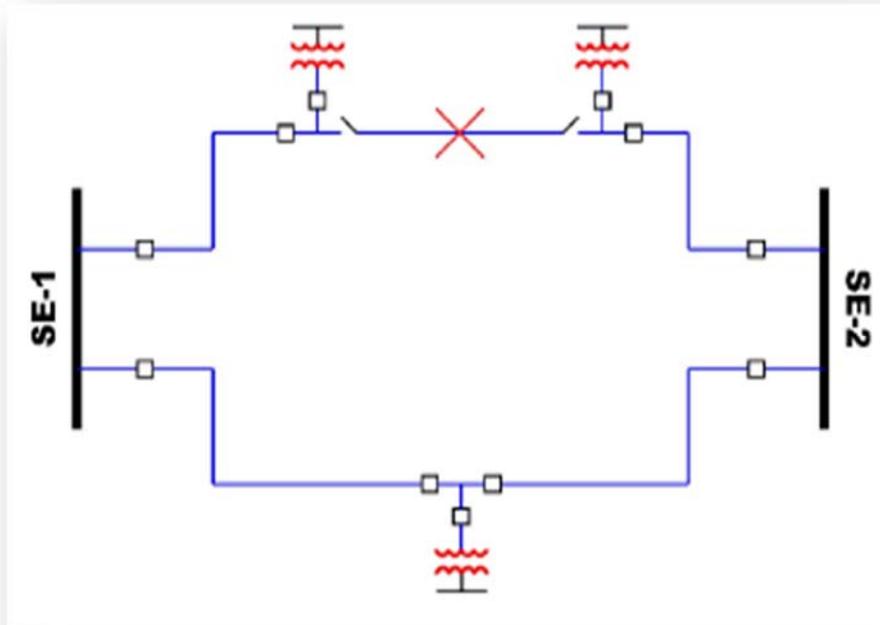
En este tipo de estructura la energía es suministrada de forma continua por una o dos fuentes permitiendo que en caso de alguna falla en algún alimentador primario el servicio se reponga fácilmente y de manera rápida.

Esta estructura tiene la ventaja de que en el caso de que exista una falla en una parte de la red, esta se pueda aislar para repararla sin afectar la continuidad de servicio en la red.

Cabe mencionar que como esta estructura funciona como anillo abierto su operación es radial.



Estructura en anillo, con una sola fuente de alimentación.



Estructura en anillo, con dos fuentes de alimentación.

3.2.1.- Estructura en anillo abierto.

Este tipo de esquema se constituye a base de bucles de igual sección, derivados de las subestaciones fuente. Las subestaciones de distribución quedan alimentadas en seccionamiento exclusivamente.

Las redes en anillo normalmente operan abiertas en un punto que por lo general es el punto medio, razón por la cual se le atribuye este nombre. Al ocurrir una falla dentro de un anillo se secciona el tramo dañado para su reparación, siguiendo una serie de maniobras de desconexión instalados.

Esta estructura se recomienda para zonas con densidades de carga de entre 5 y 15 MVA/km² y donde el aumento de carga es pequeño o nulo.



3.2.2.- Estructura en anillo cerrado.

Esta estructura es similar al anterior con la diferencia de que no existe ningún punto normalmente abierto. Tiene aplicación en zonas amplias, se desarrolla en cable subterráneo por la facilidad que se tiene de incrementar la capacidad instalada sin afectar la estructura fundamental de la red. Con esta estructura aumenta en forma considerable la confiabilidad del sistema. Otras ventajas de este tipo de estructura es el mejor control del nivel de corto circuito.

Es importante señalar que este tipo de estructura puede presentar accidentes por su forma de operación.



CAPITULO 4. INSTITUTOS.

4.1.- Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB).

El Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB) es una dependencia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que pertenece al Subsistema

de la Investigación Científica. Actualmente cuenta con dos sedes, una en el circuito escolar y otra en el tercer circuito exterior de Ciudad Universitaria.



La misión del IIB es el estudio de fenómenos biológicos en los niveles molecular, celular, orgánico y poblacional, y la proyección de sus

conocimientos y tecnologías al entendimiento y solución de las enfermedades humanas.

El IIB se inició, en 1941, en la Antigua Escuela de Medicina con el nombre de Laboratorio de Estudios Médicos y Biológicos. En 1954 se trasladó a uno de los edificios que hoy ocupa en Ciudad Universitaria, adquiriendo la categoría y el nombre de Instituto de Estudios Médicos y Biológicos. En 1969 adquirió su nombre actual Instituto de Investigaciones Biomédicas. En mayo de 2007, se inauguraron la primera y la segunda etapas siendo el Dr. Juan Ramón de la Fuente, Rector de la UNAM. El 16 de octubre del 2009, el Auditorio Dr. Alfonso Escobar Izquierdo fue inaugurado por el Dr. José Narro Robles, actual rector de la UNAM.

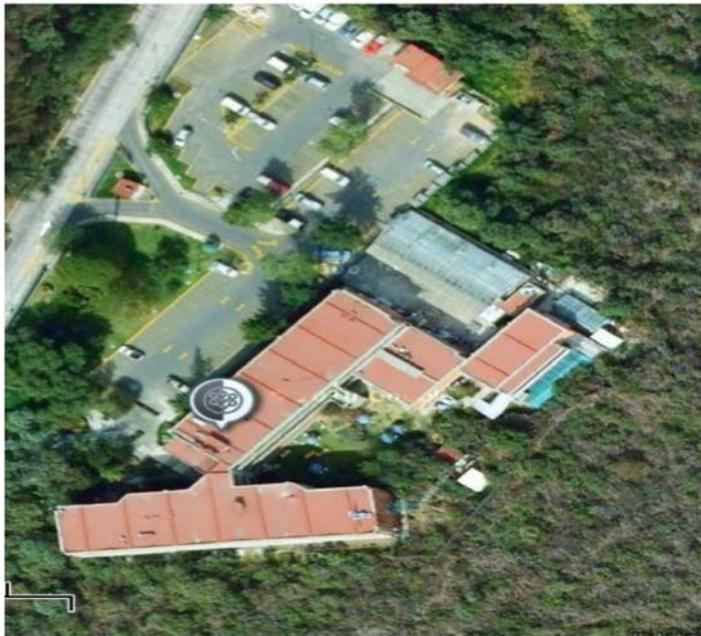
Actualmente el IIB está organizado en 4 departamentos, Biología Celular y Fisiología (BC y F), Biología Molecular y Biotecnología (BM y B), Inmunología y Medicina Genómica y Toxicología Ambiental (MGTA).

El IIB se ha destacado en la formación de recursos humanos a través de su participación en diversos programas docentes, como la Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas, Maestría y Doctorado en Ciencias Bioquímicas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y Salud Animal, Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud y Doctorado en Ciencias Biomédicas, principalmente

4.2.- Instituto de Ecología.

El Instituto de Ecología tiene sus raíces en el laboratorio de Ecología de Poblaciones, fundado en 1972 en el seno del Instituto de Biología. En 1985 se creó el Departamento de Ecología, todavía dentro del Instituto de Biología. Por

Vista aérea del Instituto de Ecología



acuerdo del Consejo Universitario del 23 de marzo de 1988, el grupo adquirió la categoría y nombre del Centro de Ecología y se trasladó a los edificios que hoy ocupa el Instituto de Ecología en Ciudad Universitaria. El Instituto de Ecología fue creado por acuerdo del Consejo Universitario del 13 de noviembre de 1996. El



Centro de Ecología fue creado sin una estructura departamental para permitir que las políticas de estructuración académica se formularan en el seno del Consejo Interno, el cual organizó cinco unidades de investigación (Ecofisiología, Ecosistemas, Comunidades, Biología de Poblaciones y Manejo y Conservación de Recursos Bióticos) y cuatro unidades de apoyo (Biblioteca, Cómputo, Laboratorio de Análisis Químicos e Invernaderos, Cámaras Ambientales y Talleres). En 1994, el Centro de Ecología creó una estructura académica nueva que incluyó los departamentos de Ecología Aplicada, Ecología Evolutiva y Ecología Funcional. En el 2003 el Departamento de Ecología de los Recursos Naturales se transformó en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, y el Instituto de Ecología se reestructuró en los departamentos de Ecología Evolutiva, Ecología Funcional y Ecología de la Biodiversidad. En el momento de su creación, el Centro de Ecología contaba con una planta de 13 investigadores y seis técnicos académicos. En 1996, al crearse el Instituto de Ecología, laboraban 45 investigadores y 19 técnicos académicos. En 2003, 20 investigadores y ocho técnicos académicos cambiaron su adscripción al Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM. Actualmente la planta académica del Instituto está conformada por 40 investigadores y 25 técnicos académicos.

4.3.- Instituto de Biología.

Fundado en 1929, el Instituto de Biología es una de las más grandes y complejas dependencias universitarias dedicadas a la investigación. Sus 151 miembros de personal académico están agrupados en dos departamentos, el de Botánica y el de Zoología, en el Jardín Botánico y en la Unidad Occidente y la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, estas dos últimas ubicadas en el Occidente de México en Veracruz respectivamente. La mayor parte de los proyectos realizados en el Instituto están orientados a incrementar el conocimiento de la biodiversidad, con un énfasis particular en el estudio de la composición, la distribución, los



orígenes y los usos potenciales de los elementos de la flora, la fauna y los hongos de México.

Desde sus orígenes, el Instituto ha mantenido la responsabilidad de formar, enriquecer, custodiar y estudiar las Colecciones Biológicas Nacionales. Las colecciones, junto con la Biblioteca, son elementos fundamentales del Instituto, y un valioso patrimonio de la Universidad y del país, ya que aquí es donde está depositado el acervo más rico de información sobre la biodiversidad de México.

El Instituto de Biología tiene como misión desarrollar investigación científica sobre el origen, las interacciones, la distribución, la composición actual, el aprovechamiento y la conservación de diversidad biológica. Además, custodiar las Colecciones Biológicas Nacionales, participar en la formación de recursos humanos de alto nivel en su área y difundir el conocimiento entre la sociedad mexicana, con el propósito de contribuir a la comprensión y conservación de la biodiversidad nacional.



Instituto de Biología, UNAM



CAPITULO 5. OBRA CIVIL.

Las seis subestaciones derivadas del estadio tienen un avance del 100 % en obra civil y ha comenzado la obra electromecánica, mientras que las cuatro subestaciones derivadas del anillo I, presentan un porcentaje de avance promedio del 92.25% en la obra civil. En el anillo J, las 11 subestaciones derivadas de este anillo, presentan un porcentaje de avance promedio del 62.30% en obra civil. En el anillo K, las 5 subestaciones derivadas de este anillo, presentan un porcentaje de avance del 5.6%.

La subestación general No.1, reporta un avance del 70 % en la obra civil, la subestación general No.2 tiene un avance del 55% en obra civil, la subestación general No.4 tiene un avance de 85% en obra civil, la subestación general No.5 tiene un avance del 92 % en la obra civil, la subestación general No.6 (Estadio) tiene un avance del 99% en la obra civil.

Las etapas a seguir se muestran en las siguientes imágenes:

Etapa 1.

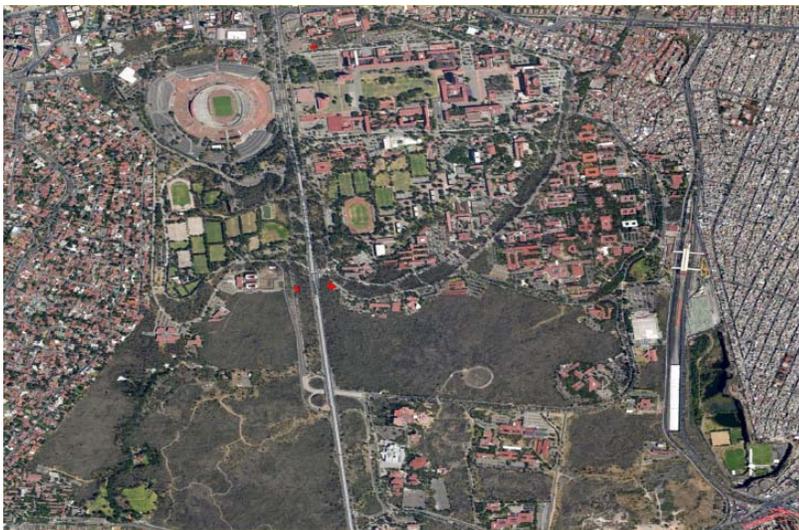


Fig.A. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 1.

Fig. A.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Etapa 2.



Fig. B. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 2.

Etapa 3.



Fig.C. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 3.

Fig. B, Fig. C.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Etapa 4.



Fig.D. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 4.

Etapa 5.



Fig.E. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 5.

Fig. D, Fig. E.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Etapa 6.



Fig.F. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 6.

Etapa 7.



Fig.G. Vista aérea de Ciudad Universitaria, Etapa 7.

Fig. F, Fig. G.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

En la obra civil que se lleva a cabo en Ciudad Universitaria para la conformación de la red eléctrica subterránea se utiliza la *Perforación direccional*, aunque cabe mencionar que existen otro tipo de obras civiles. Para nuestro estudio nos enfocaremos solo en la perforación direccional.

Los diferentes tipos de obras civiles son los siguientes:

- Encofrado.
- Cielo Abierto.
- Perforación direccional.

La perforación direccional o perforación horizontal está dirigida para instalaciones subterráneas, sin necesidad de abrir zanja, lo que maximiza los beneficios ya que el tiempo de realización se reduce en un 70%, adicionando a que no hay necesidad de detener el tráfico o tapar calles.

Otro beneficio importante de la perforación direccional es que es totalmente amigable al medio ambiente, ya que requiere de muy poco espacio para acomodar la maquinaria que se necesita.

Se utiliza principalmente en cruces de carretera, arroyos o ríos, y centros de ciudades en donde no es posible cerrar las calles.

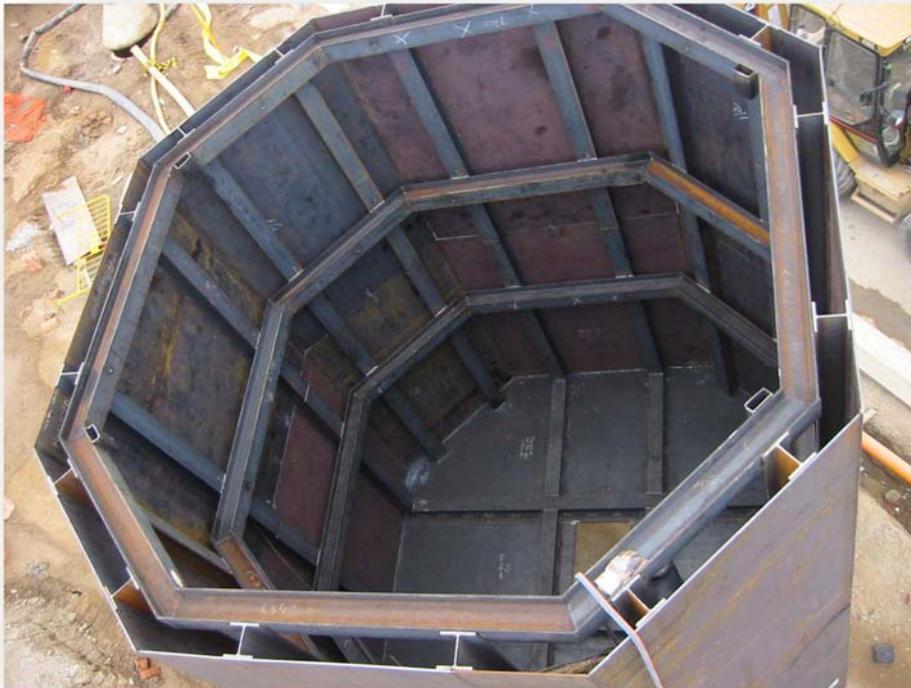


Máquina perforadora.

El encofrado consiste en un sistema de moldes temporales o permanentes que al recibir el hormigón toma la forma de dicho molde al endurecerse.

Existen diferentes tipos de sistemas de encofrados:

- Sistema tradicional.
- Encofrado modular o sistema normalizado.
- Encofrado deslizante.
- Encofrado perdido.
- Encofrado de aluminio.



Molde para encofrado



DUCTOS.

Los ductos que se instalarán en la obra civil de la red subterránea de 23 kV serán de PAD (Polietileno de Alta Densidad) liso (RD-13.5, RD-17).

El ducto de pared lisa es muy flexible y puede ser instalado fácilmente en áreas de dimensiones restringidas de movimiento. El excelente comportamiento del polietileno en condiciones drásticas de temperatura nos permite trabajar aún en las condiciones climáticas más adversas. El ducto de pared lisa provee una resistencia superior a daños naturales o mecánicos, en adición a su versatilidad y economía.

Las características de los ductos de PAD son los siguientes:

- ✓ Resistencia al intemperismo.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Resistencias en zonas difíciles.
- ✓ Flexibilidad.
- ✓ Ligereza.
- ✓ Tipos de unión.
- ✓ Resistencia química.
- ✓ Resistencia a la compresión.
- ✓ Bajo coeficiente de fricción.

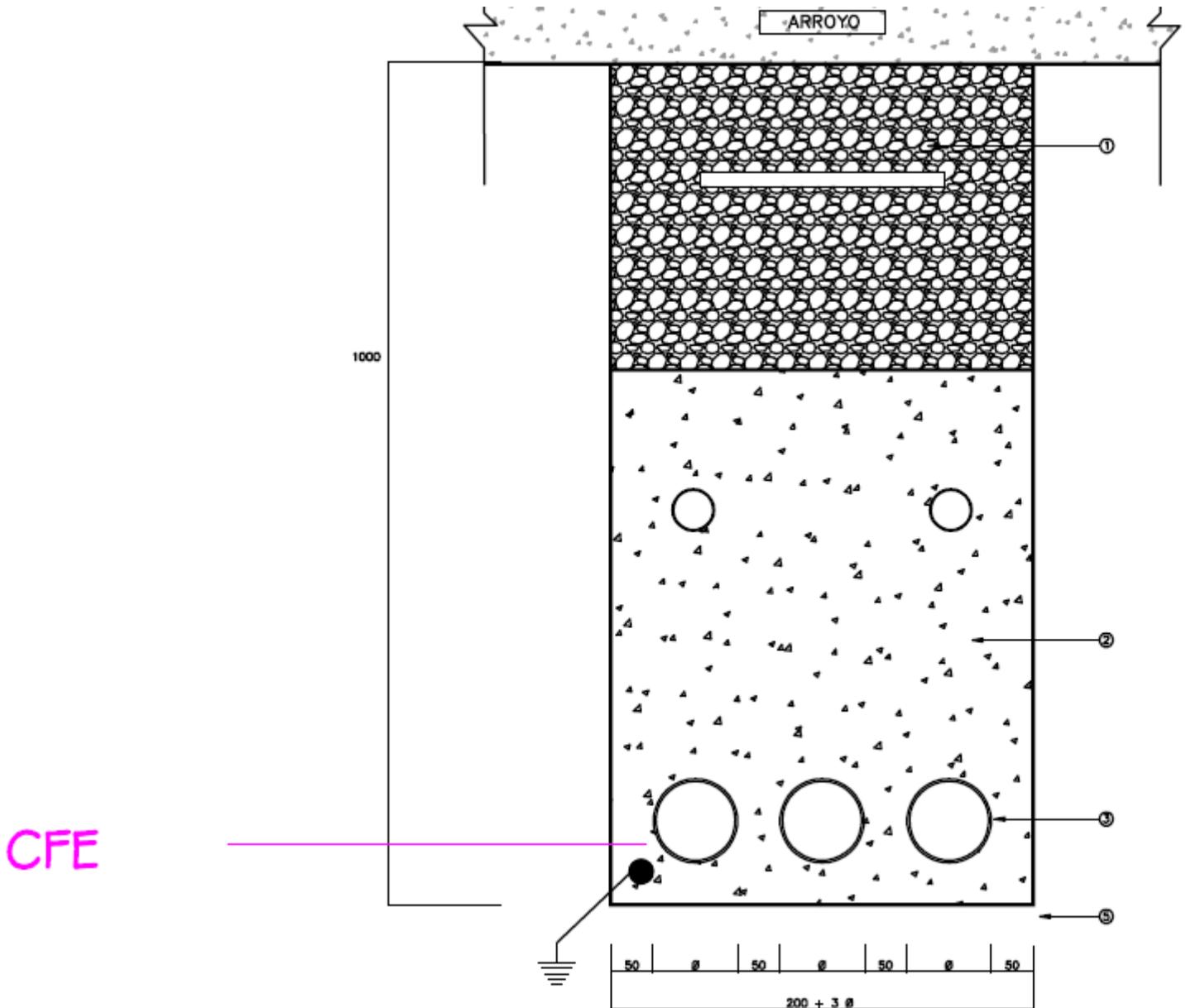
Los ductos que se instalarán deberán cumplir con las especificaciones requeridas en la norma de CFE: **CFE-DF100-23**.

La obra civil que se está llevando a cabo en Ciudad Universitaria se aprecia en las siguientes imágenes tomadas sobre el camino verde en la instalación de los ductos de PAD (Polietileno de Alta Densidad) para la red eléctrica subterránea:





A continuación se muestran las características que deben llevar los ductos, en cuanto a las medidas de separación y construcción en base a la norma de CFE: **CFE-BMT-EOCEMAH.**





Se muestra la separación entre las canalizaciones, además de las dimensiones de la estructura donde se colocarán estas.

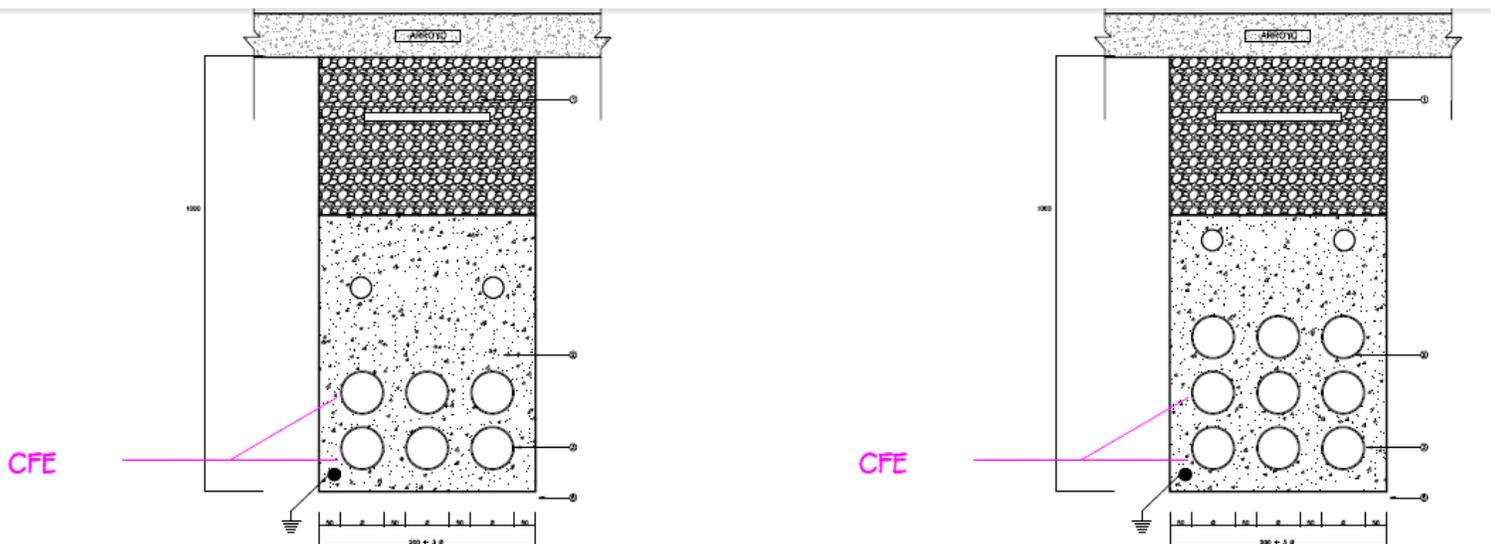
Notas:

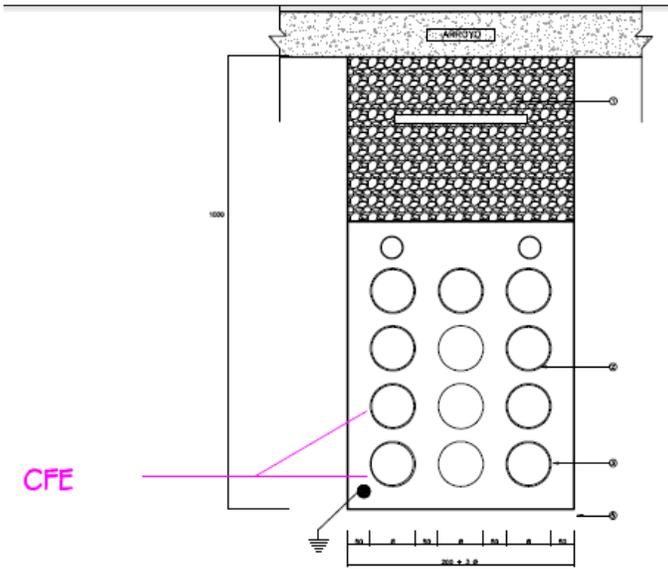
- 1.- Relleno material compactado (90% mínimo).
- 2.- Concreto $F'c=4903.325\text{kPa}$ (50Kg/cm^2) Agregado máximo 19.1 mm.
- 3.- Ducto de PVC 50.8, 76 o 101 mm DE.
- 4.- Ducto de PVC 38.1 o 50.8mm DE. (TV o Teléfono).
- 5.- Piso compactado (95% mínimo).

Registro a utilizar tipo X, P, L o T.

*Cuando se utilicen ductos para TV o Teléfonos, esta dimensión y la profundidad total del banco de ductos deben incrementarse en 50mm.

Cuando se considere la construcción de instalaciones para TV por cable, se debe recurrir a los "LINEAMIENTOS TÉCNICOS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN DE CFE, PE-D1100-002".

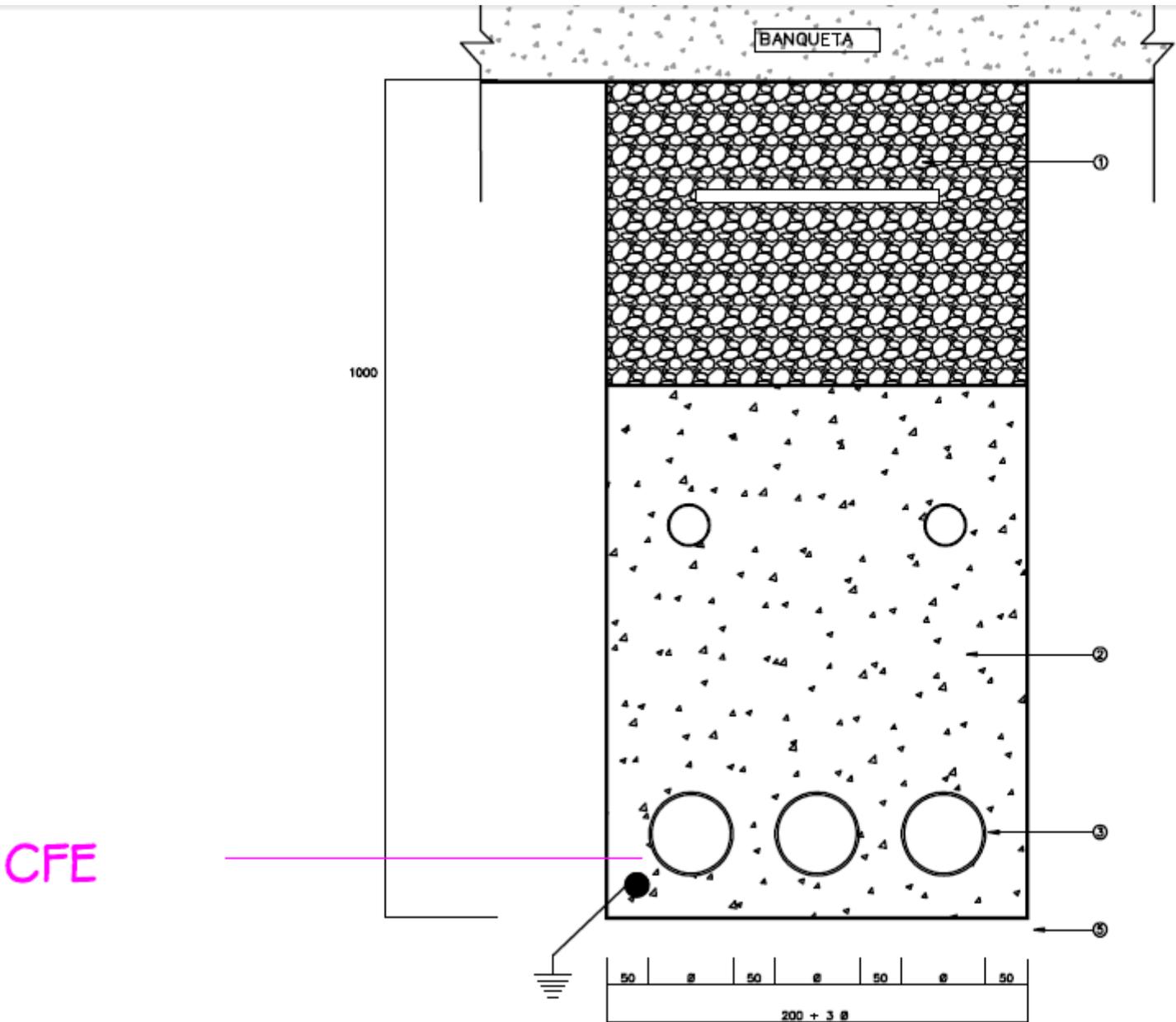


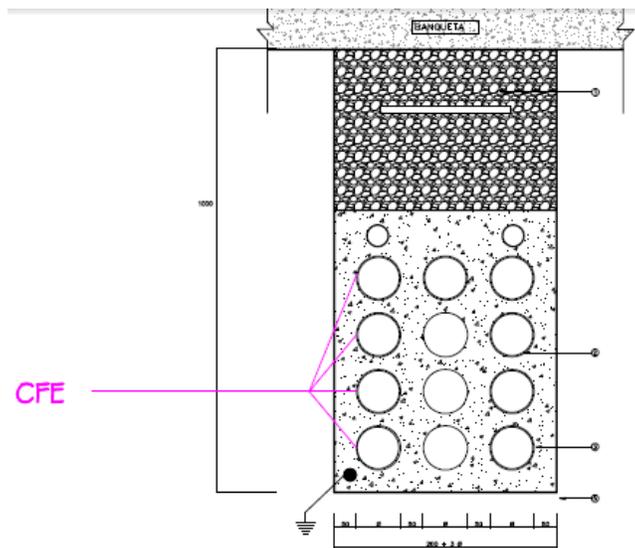
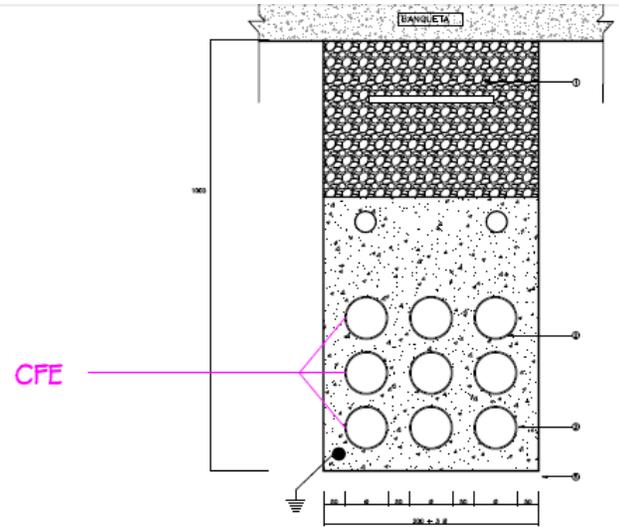
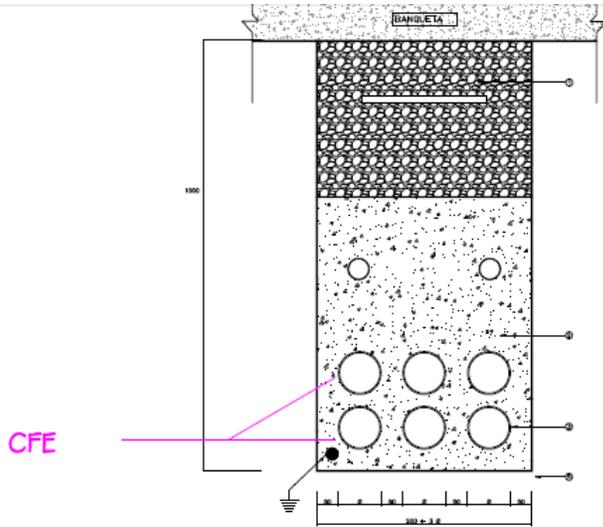




- Superficie: Banqueta.

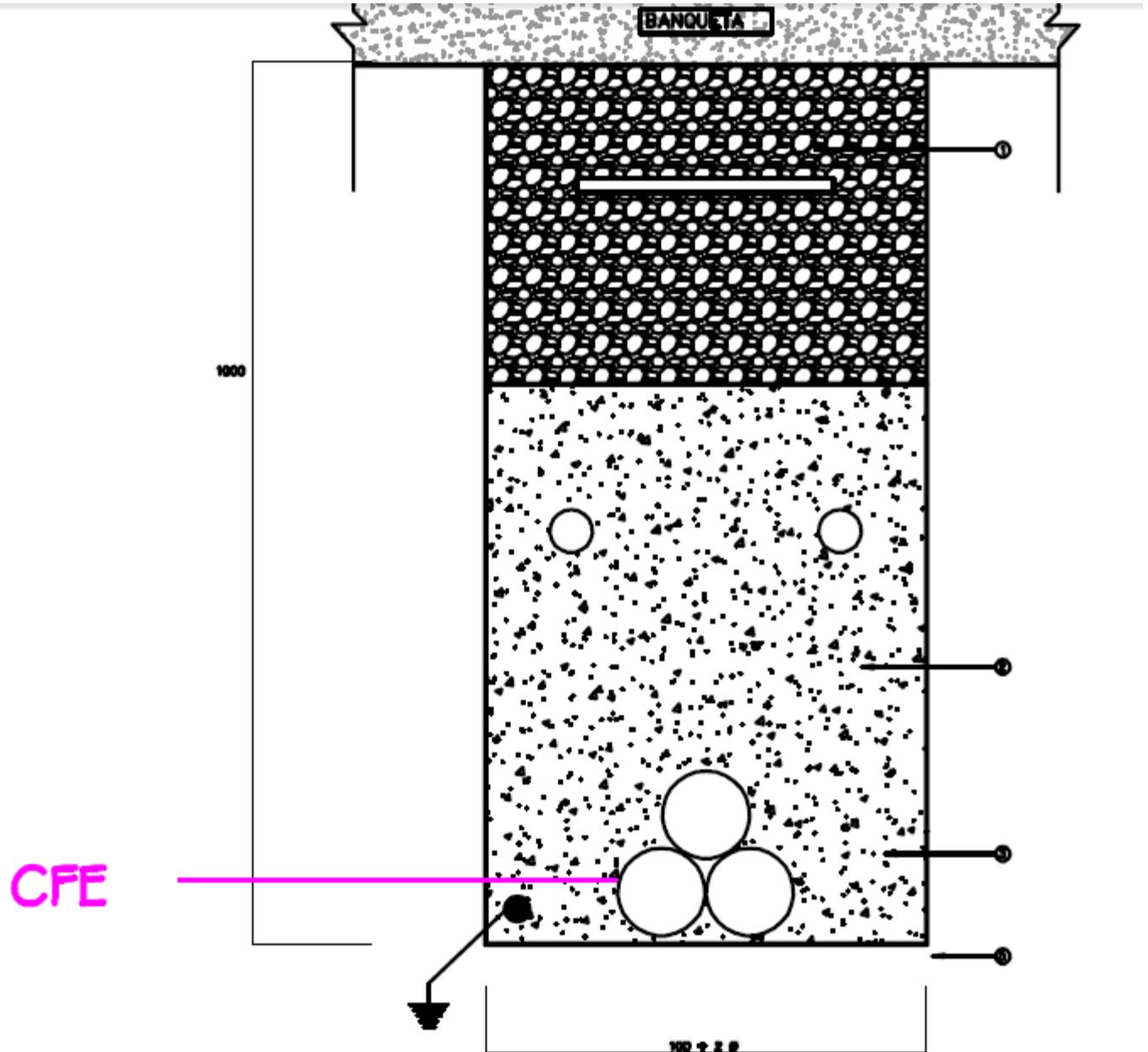
Cumple con las mismas notas que la anterior.

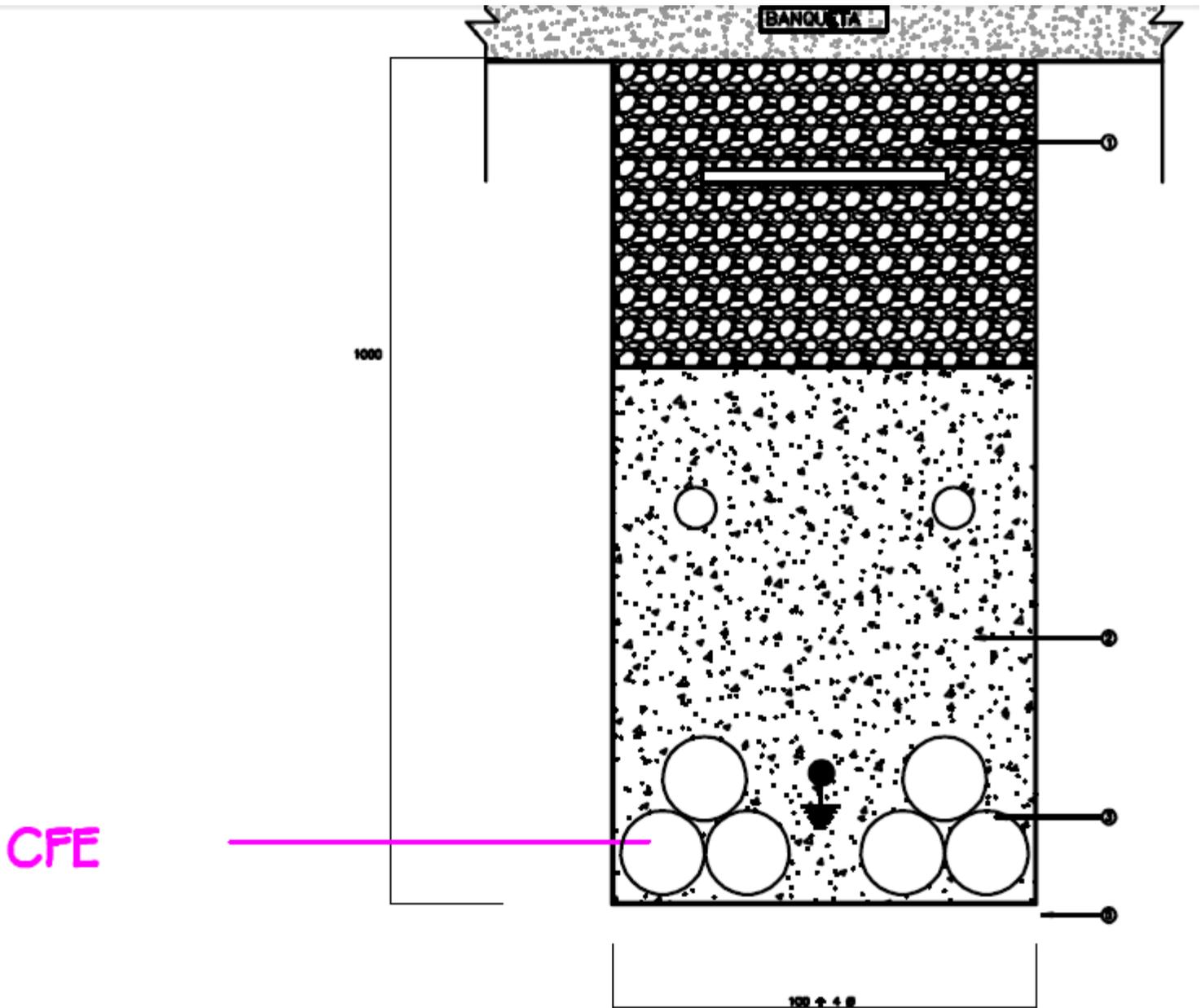


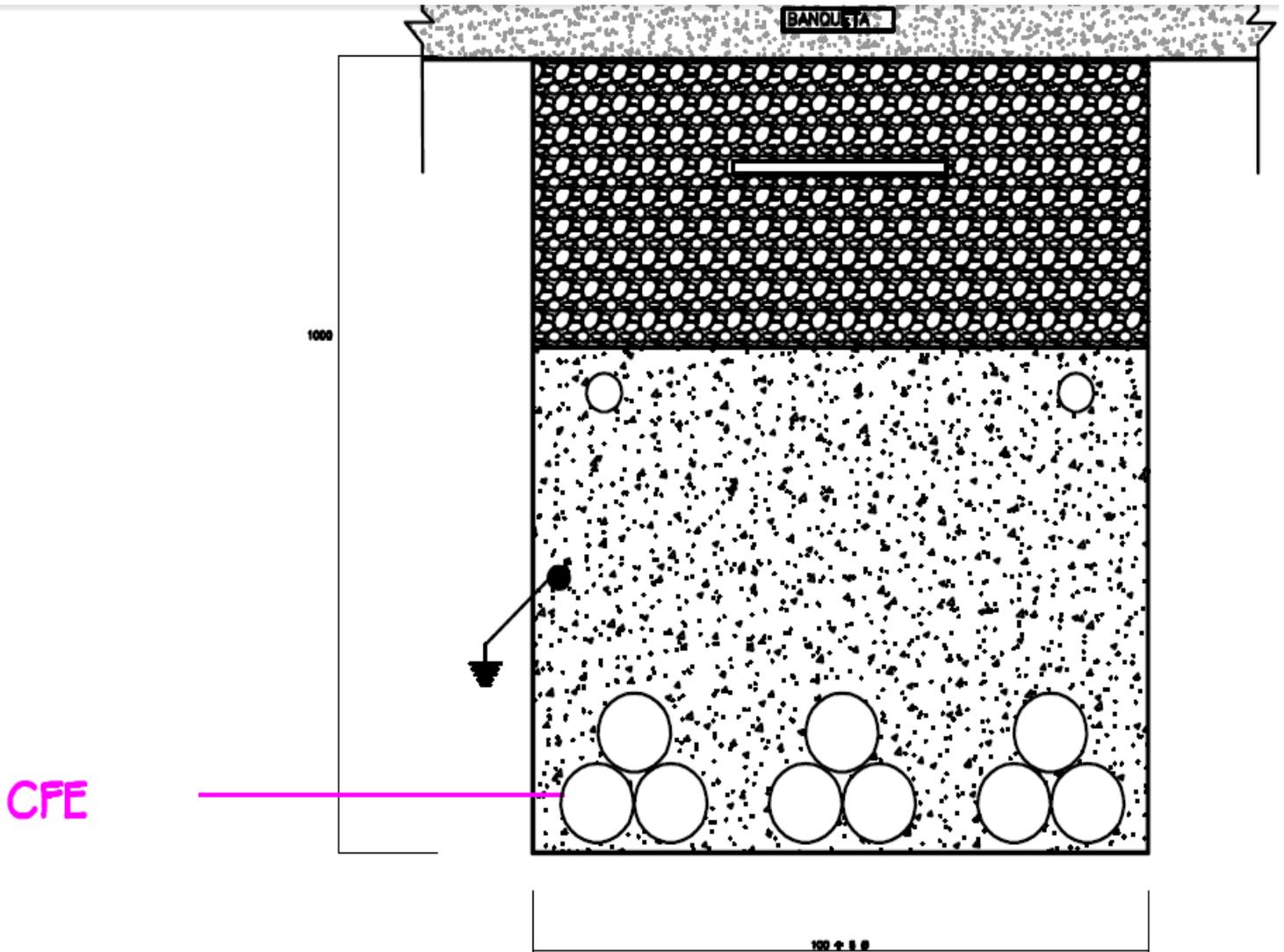




DETALLES DE SEPARADOR.

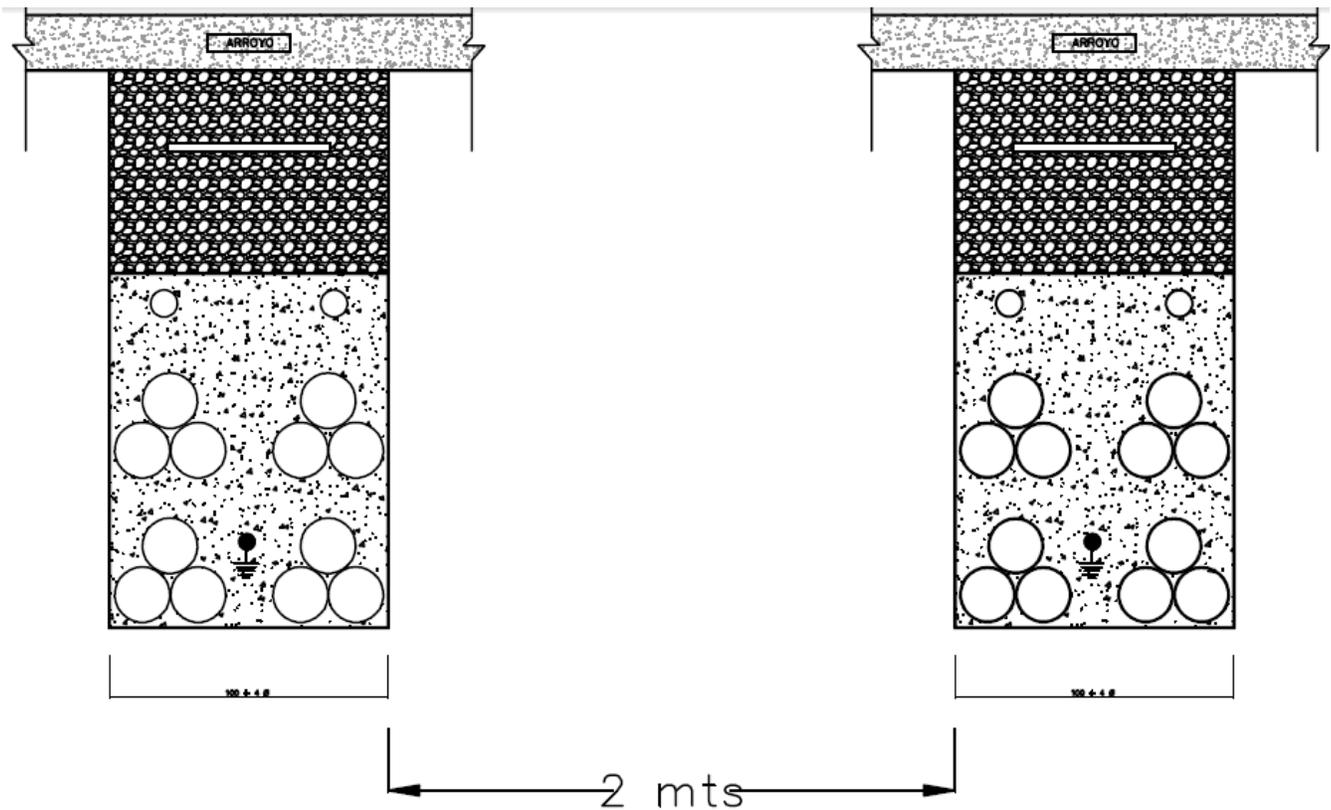


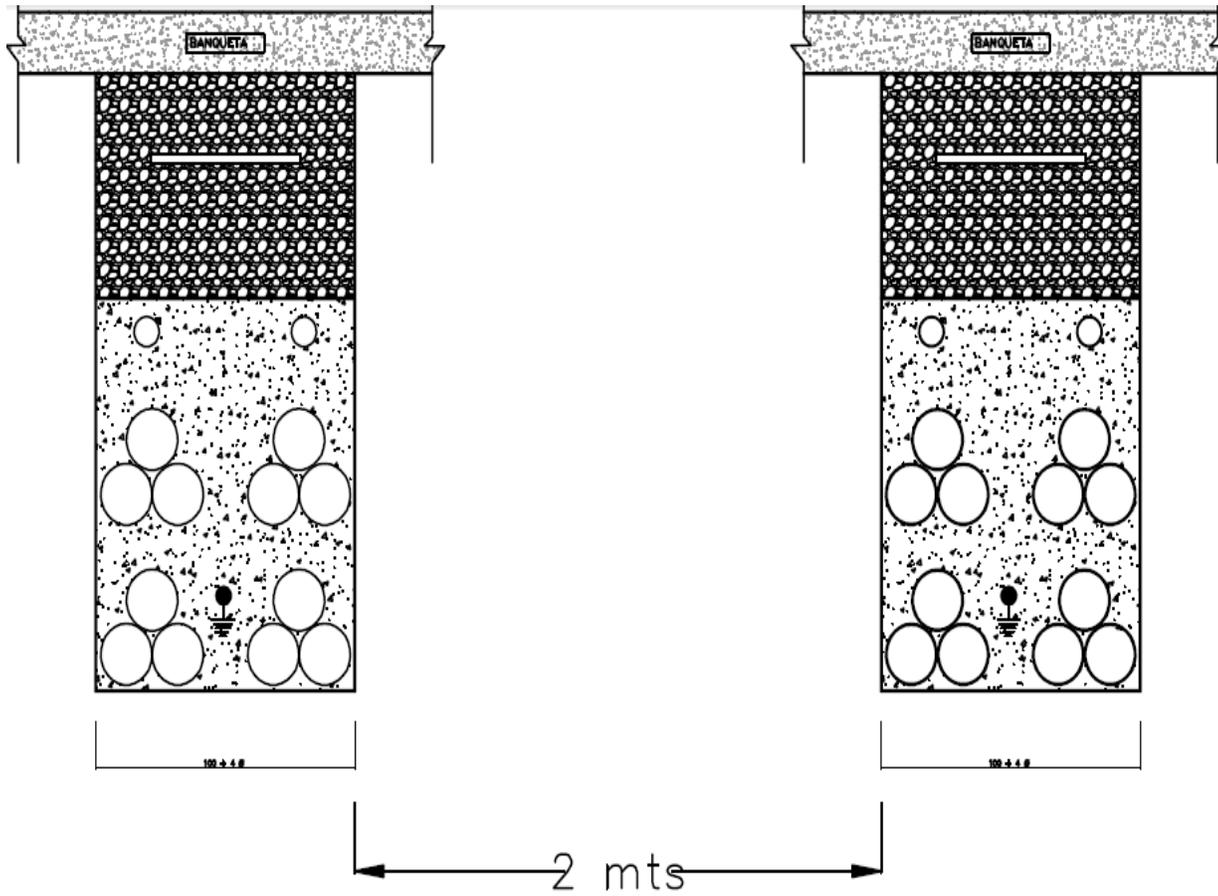




Bancos de ductos.

- Superficie: Arroyo.





Registro de media tensión. (PASO CUADRADO).

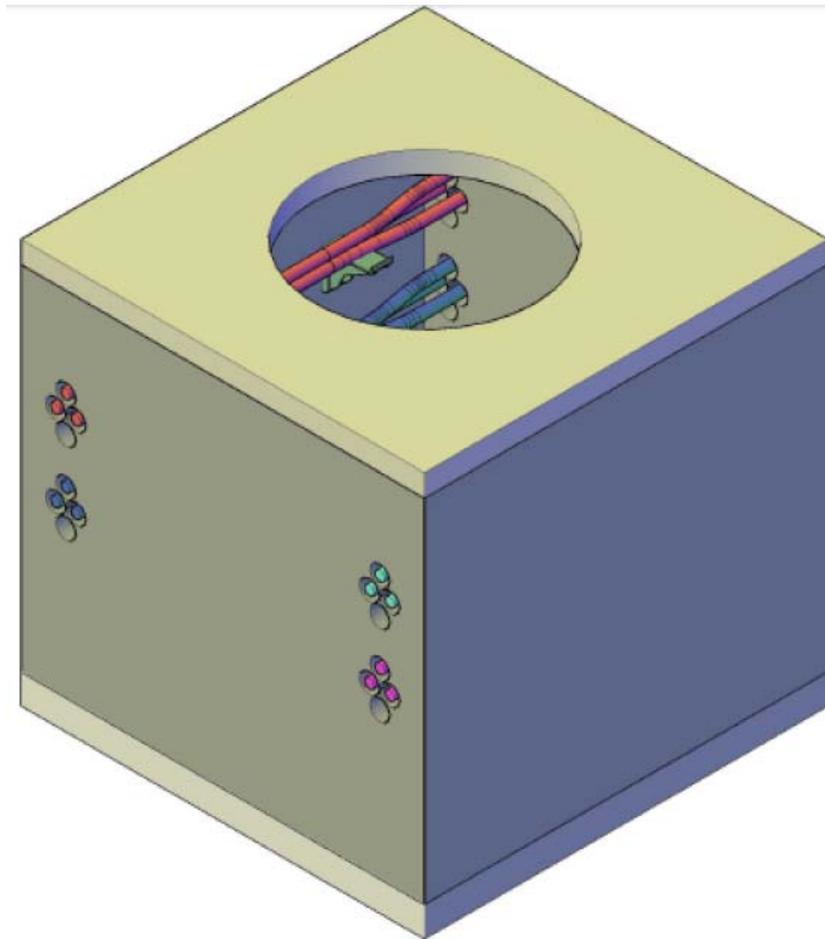


Fig.H.- Registro de media tensión (PASO CUADRADO).

REGISTRO DE MEDIA TENSIÓN (PASO CUADRADO).	
MEDIO	NORMA
Banqueta.	CFE-RMTB3
Arroyo	CFE-RMTA3

Figura H.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Distancias de colocación de los cables y ménsulas.

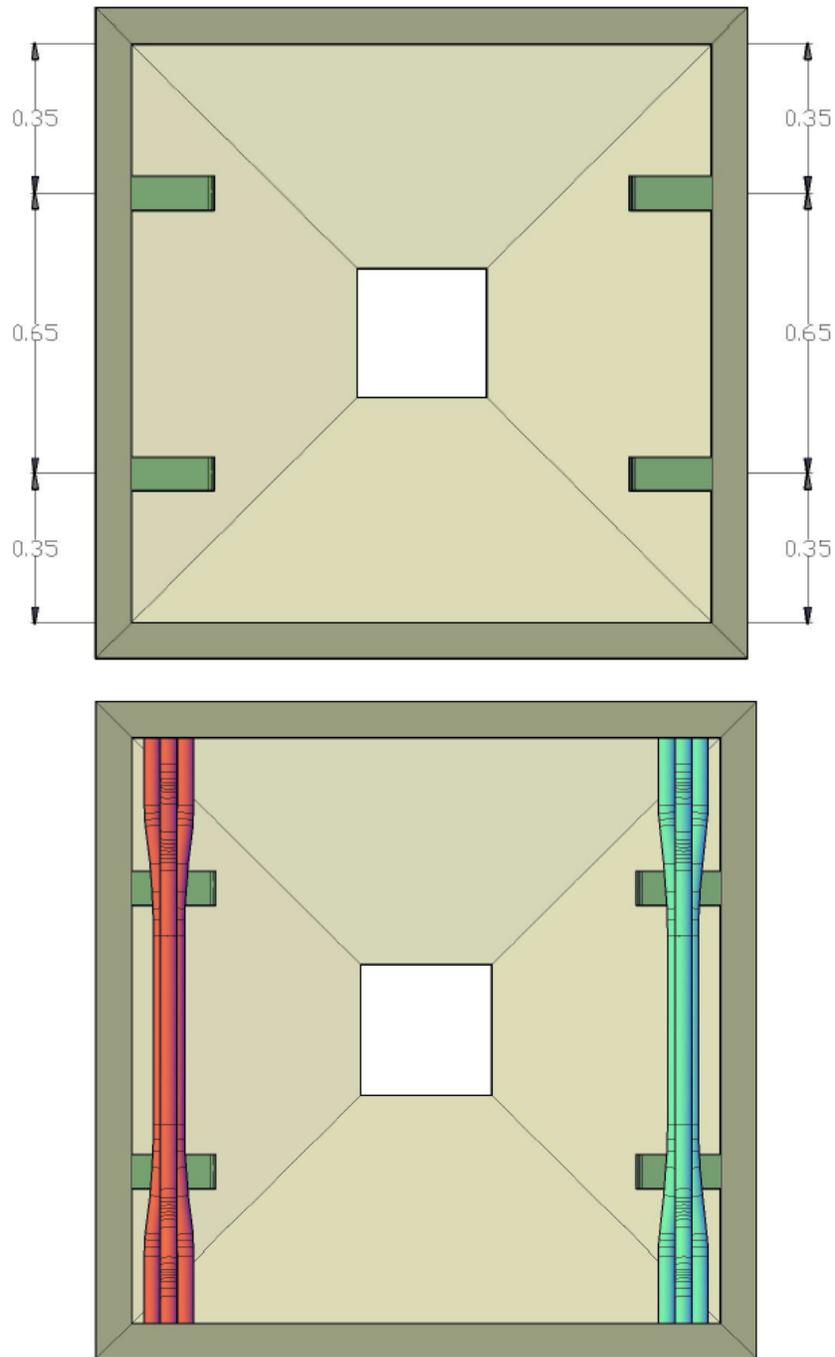


Fig. I.- Vista aérea del pozo del registro de media tensión (Paso Cuadrado).

Figura I.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

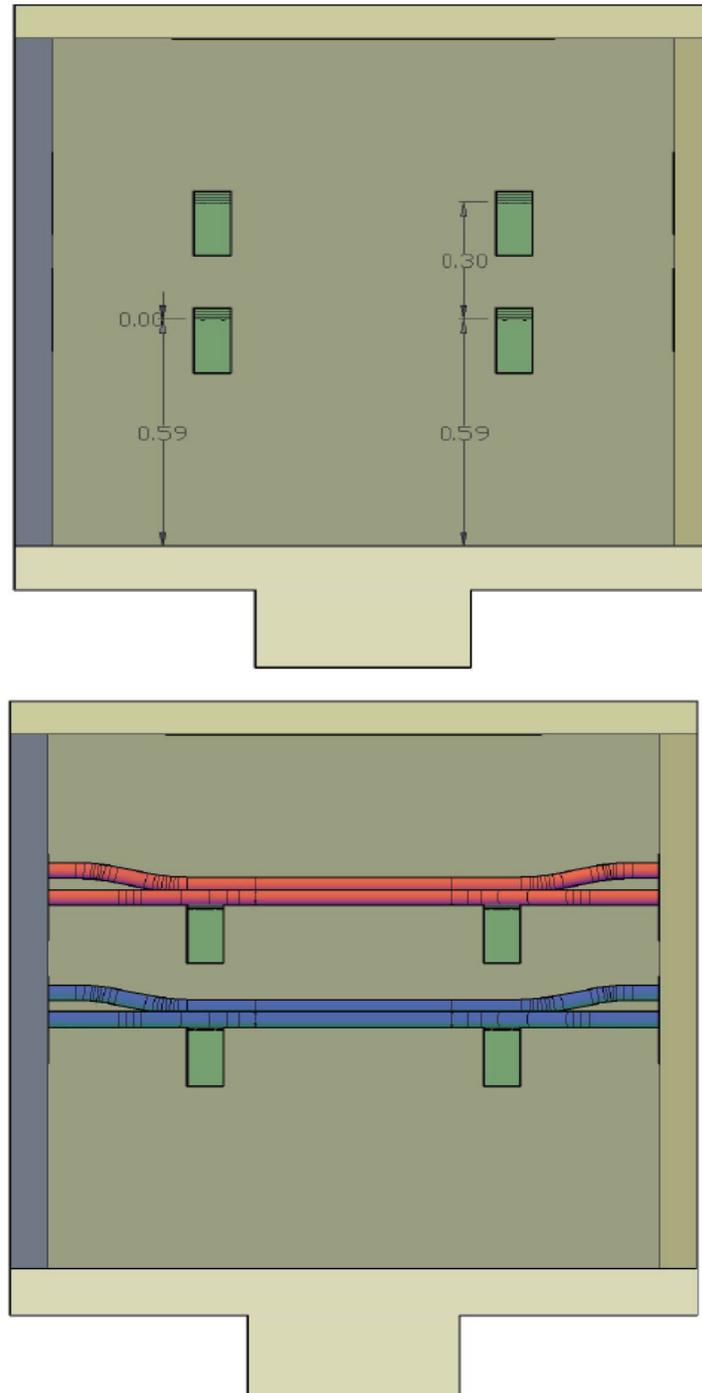


Fig. J.- Vista transversal del registro de media tensión (Paso Cuadrado).

Figura J.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

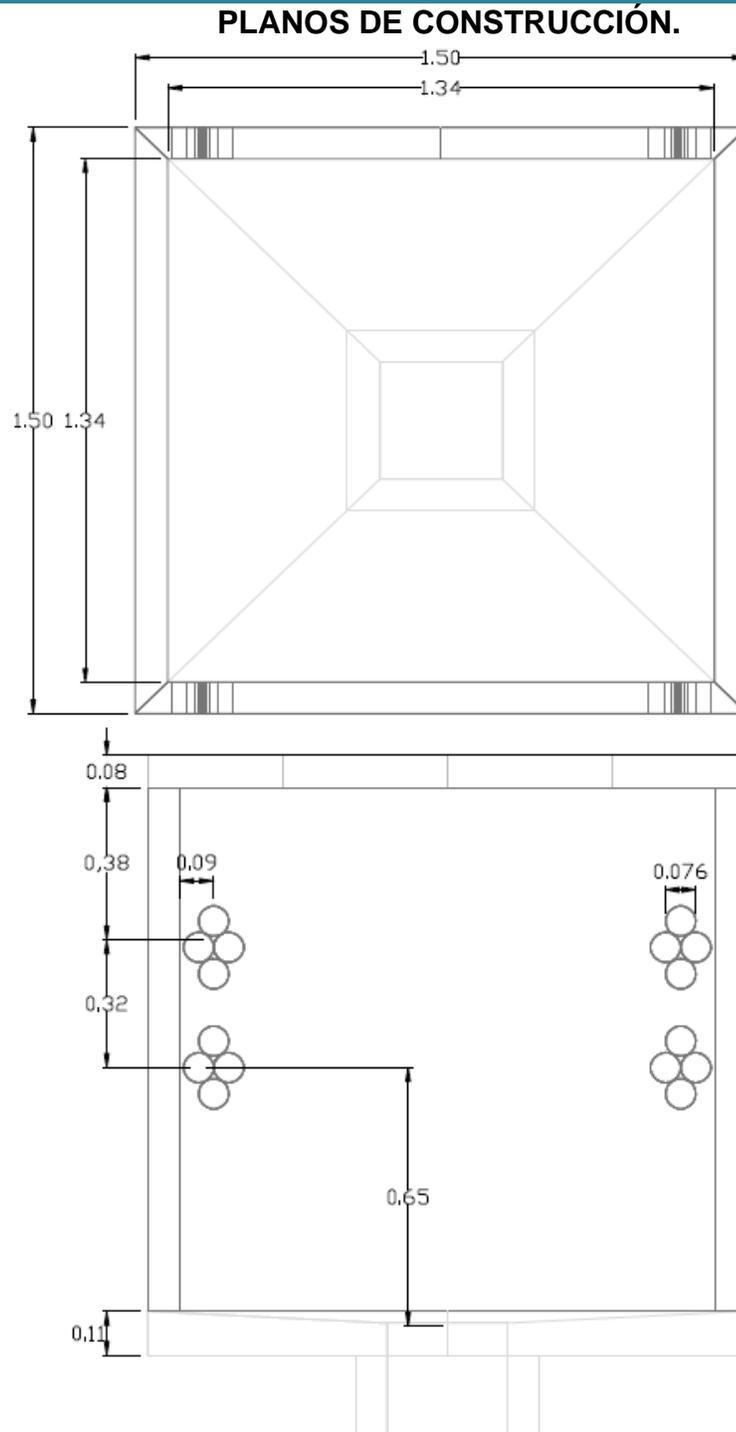


Fig.K.- Planos de construcción del registro de media tensión (Paso Cuadrado).

Figura K.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

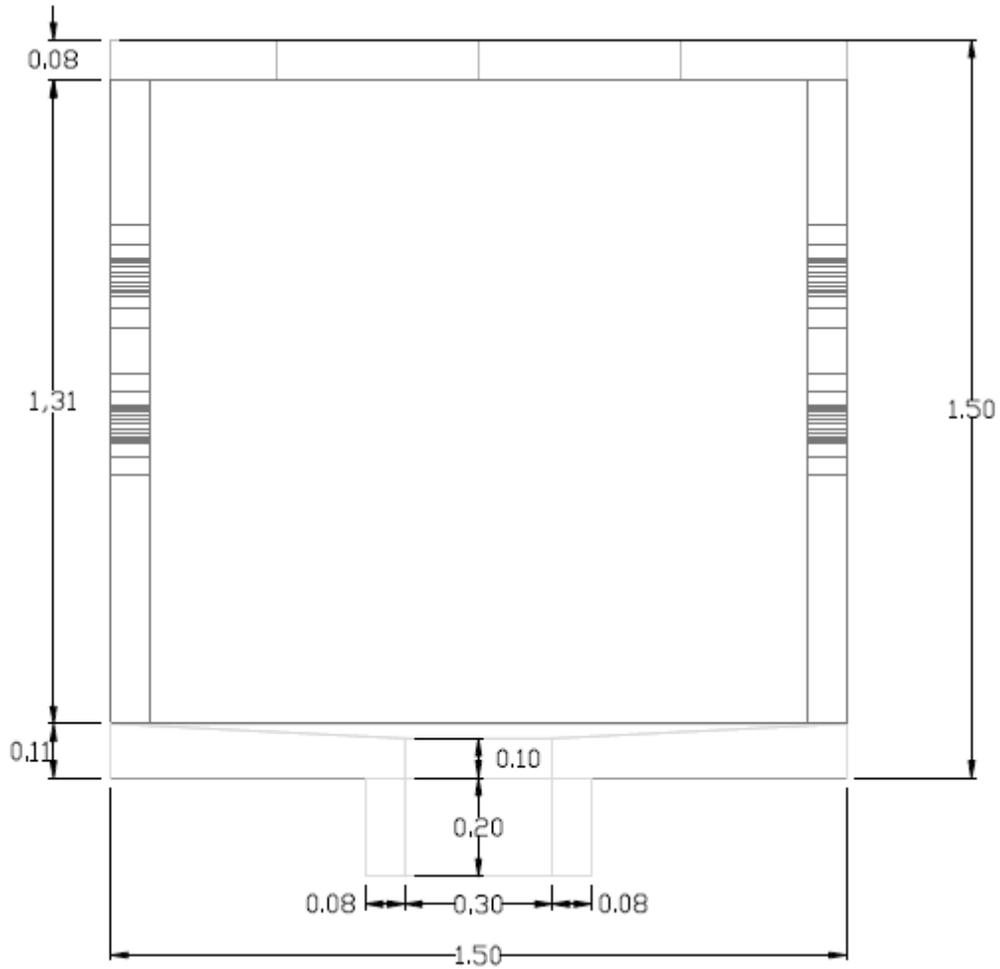


Fig.L.- Planos de construcción del registro de media tensión (Paso Cuadrado).

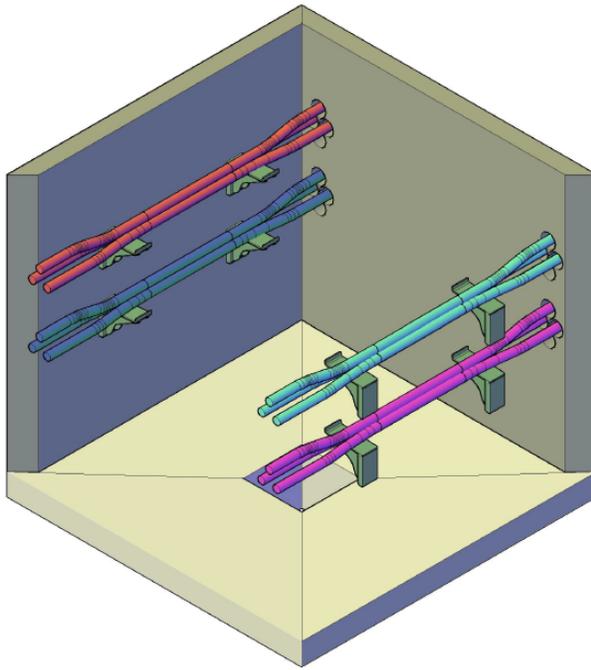


Fig.M.- Vista diagonal del registro de media tensión (Paso Cuadrado).



Fig.N.- Vista real del registro de media tensión (Paso cuadrado).

Figura M.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Colocación de coples y separadores con banco de ductos de PVC.

NORMA: CFE-CCSBDPVC

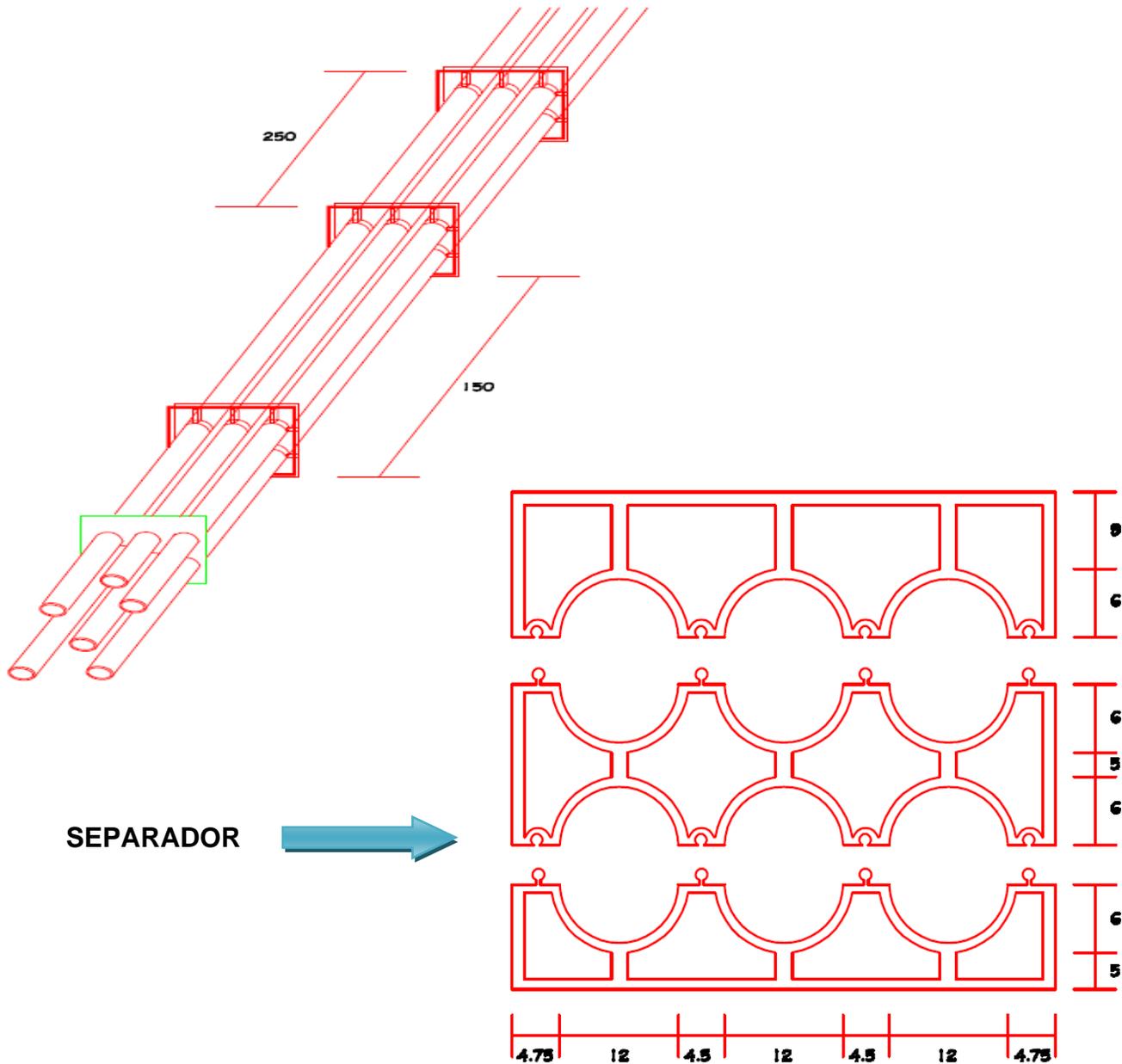


FIG.- DISTANCIAS DE COLOCACIÓN DE COPLES Y SEPARADORES CON BANCO DE DUCTOS DE PVC.

Fig.- Fuente: Normas de Distribución-Construcción-Líneas Subterráneas, Norma: CFE- CCSBDPVC

POZOS DE VISITA PARA MEDIA TENSIÓN.

A continuación se muestran los distintos tipos de pozos que se utilizarán en la red eléctrica subterránea de Ciudad Universitaria, en base a la norma de CFE: **CFE-BMT-EOCEMAH**

- **Pozo de visita para media tensión, tipo P. (EMPALME ABAJO).**

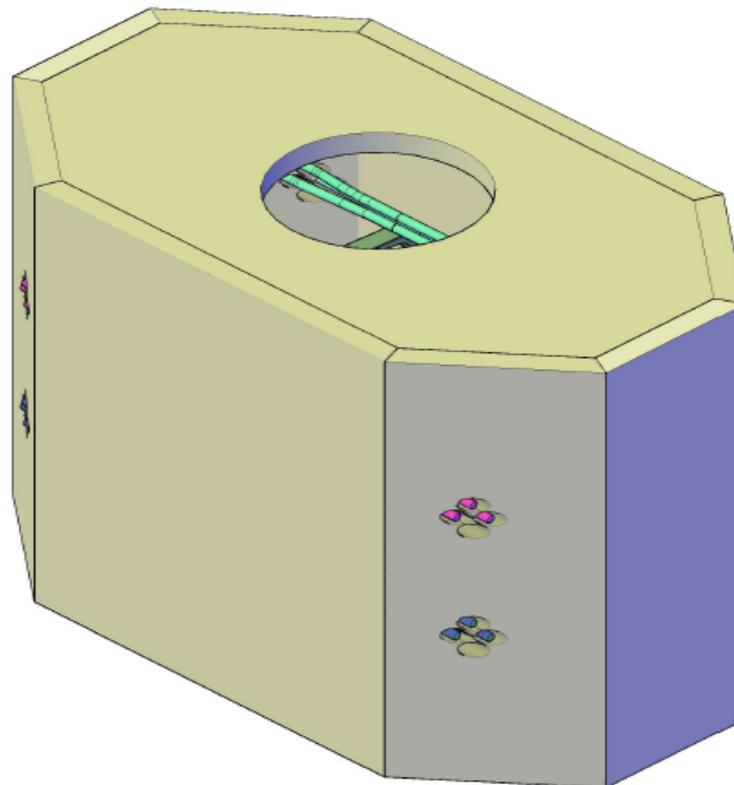


Fig.1.- Pozo de Visita para media tensión, Tipo P.

POZO DE VISITA PARA MEDIA TENSIÓN, TIPO P.	
MEDIO	NORMA
Banqueta.	CFE-PVMTBP
Arroyo	CFE-PVMTAP

Figura 1-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Distancias de colocación de los cables y ménsulas.

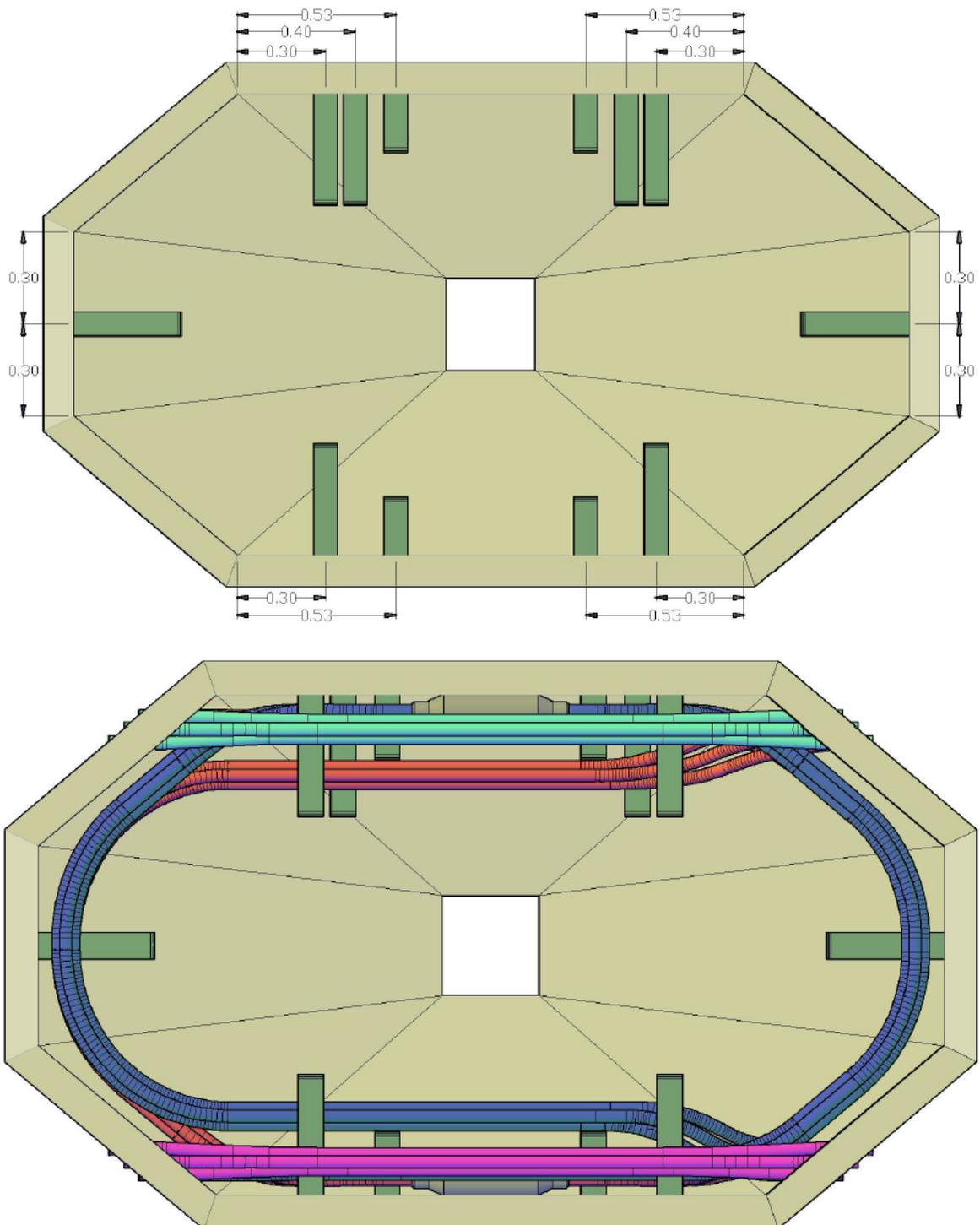


Fig.2.- Vista aérea del pozo de visita de media tensión, Tipo P.

Figura 2.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

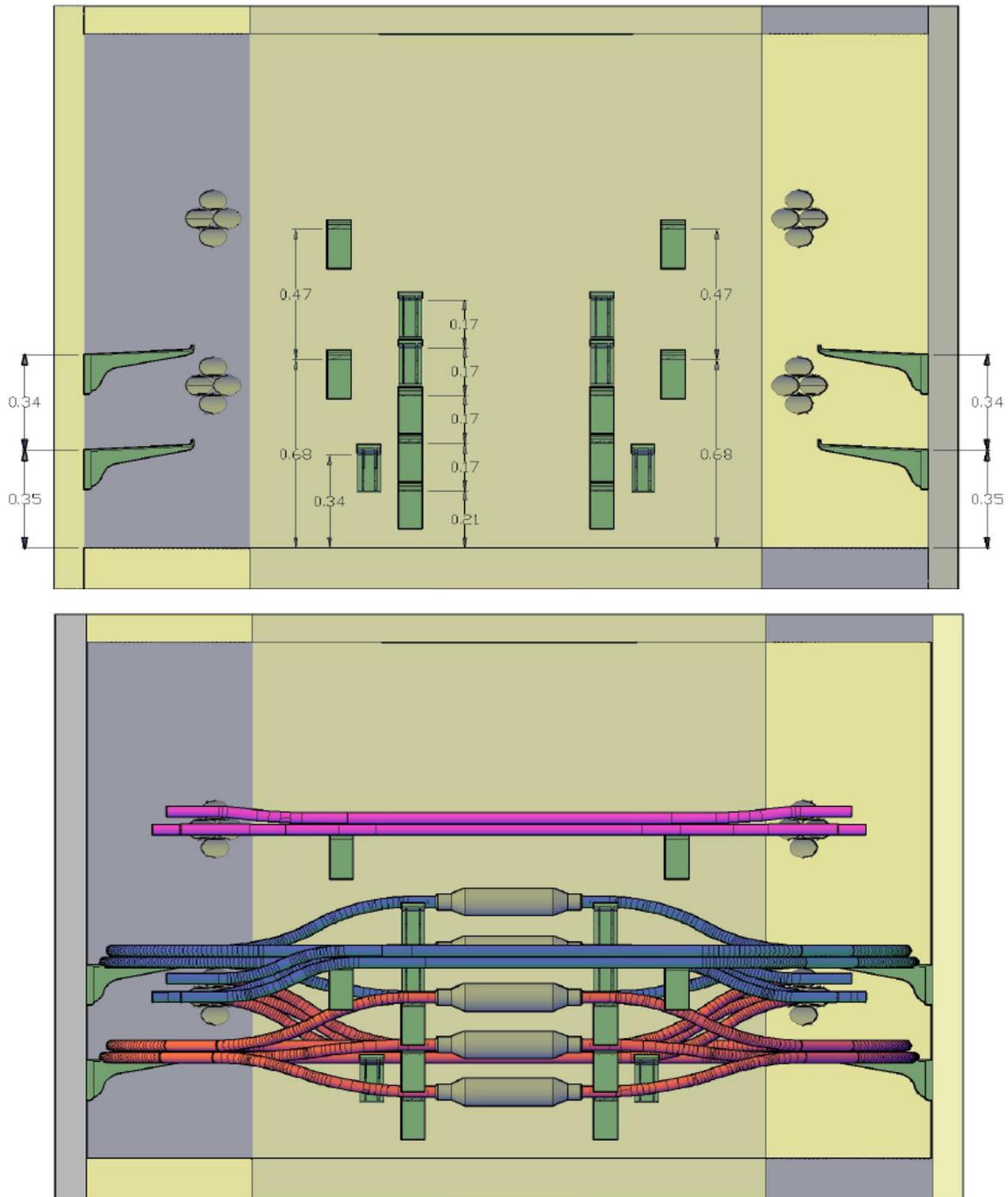


Fig. 3.- Vista transversal del pozo de visita de media tensión, Tipo P.

Figura 3-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

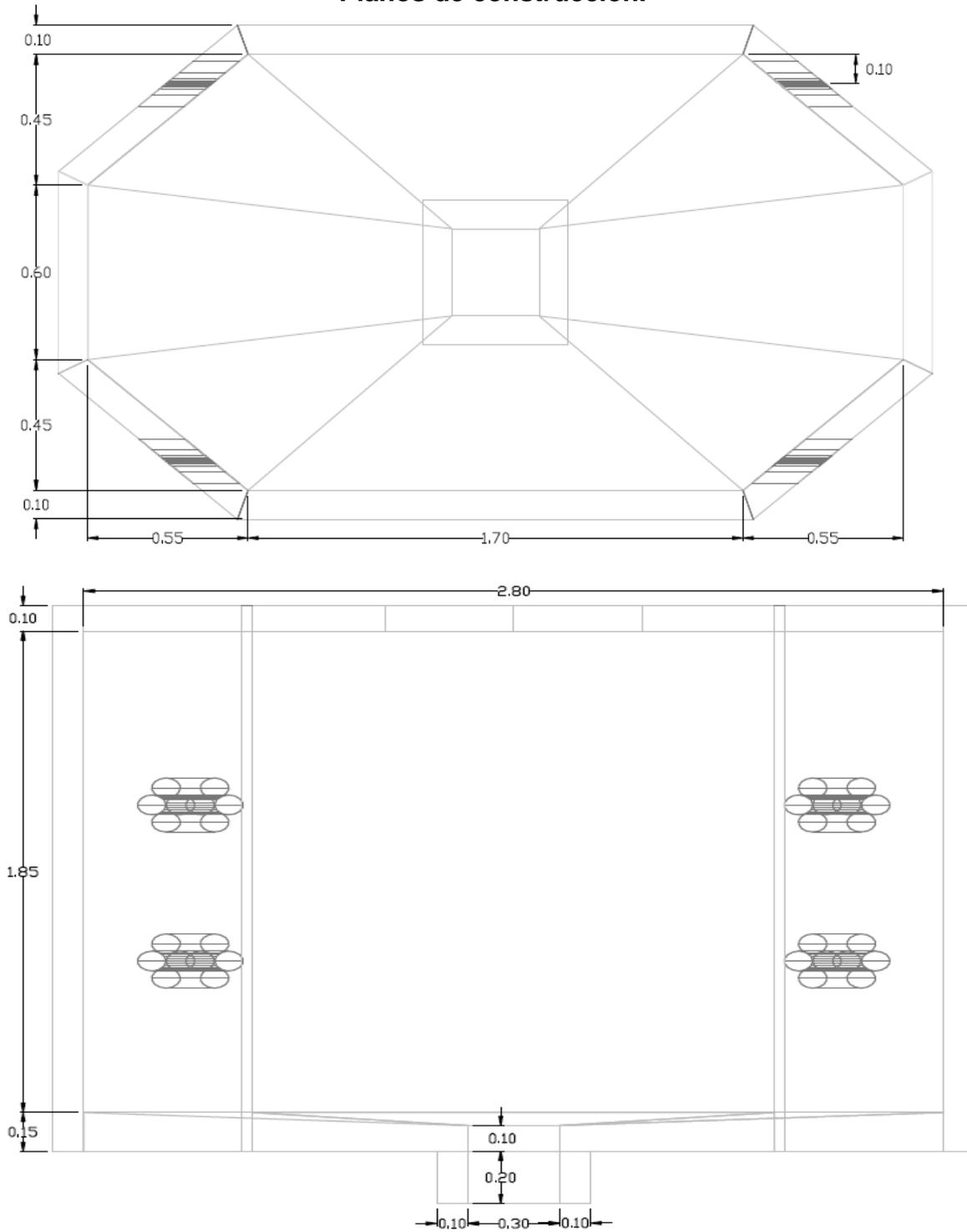


Fig.4.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo P.

Figura 4-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

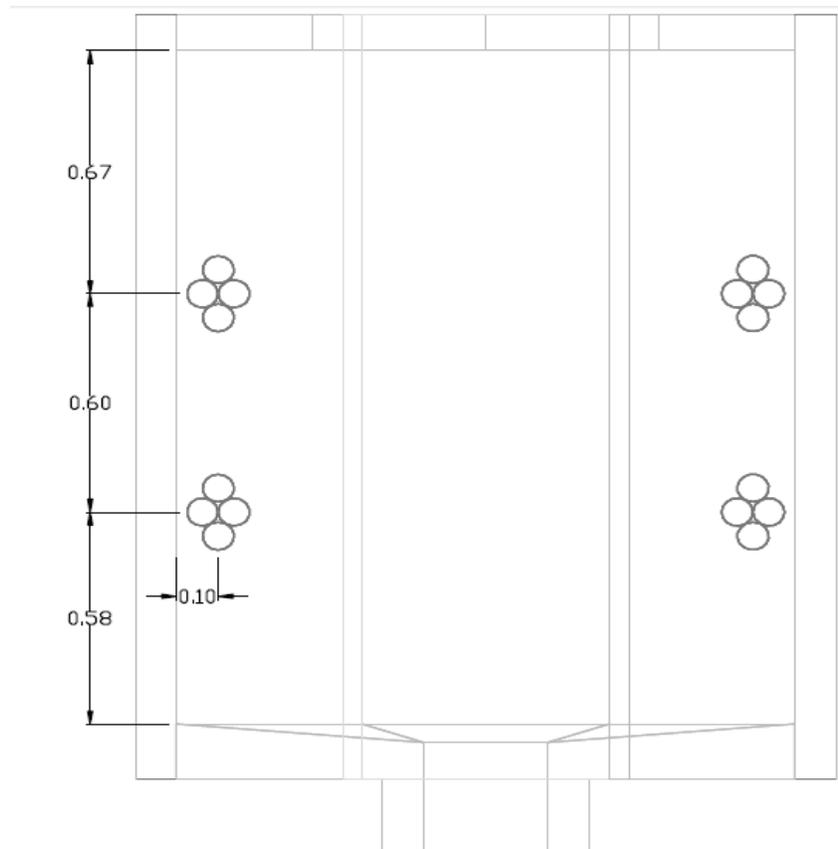


Fig.5.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo P.

Figura 5-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

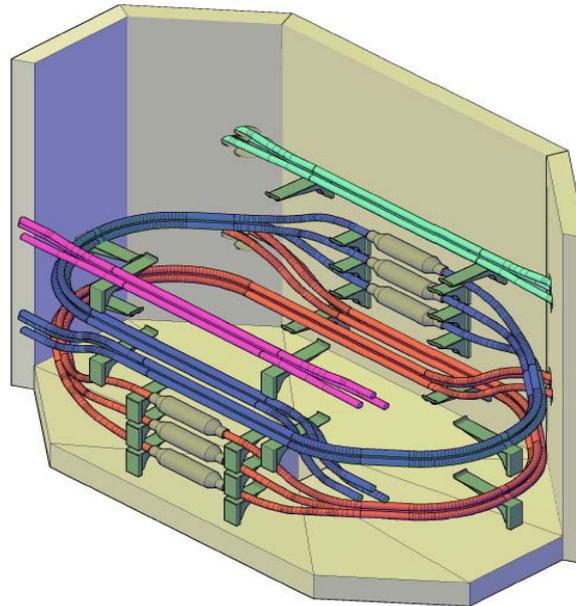


Fig.6.- Vista diagonal del pozo de visita de media tensión, tipo P.



Fig.7.- Vista real del pozo de visita de media tensión, tipo P.

Figura 6-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

- **Pozo de visita para media tensión, tipo X. (EMPALME ARRIBA).**

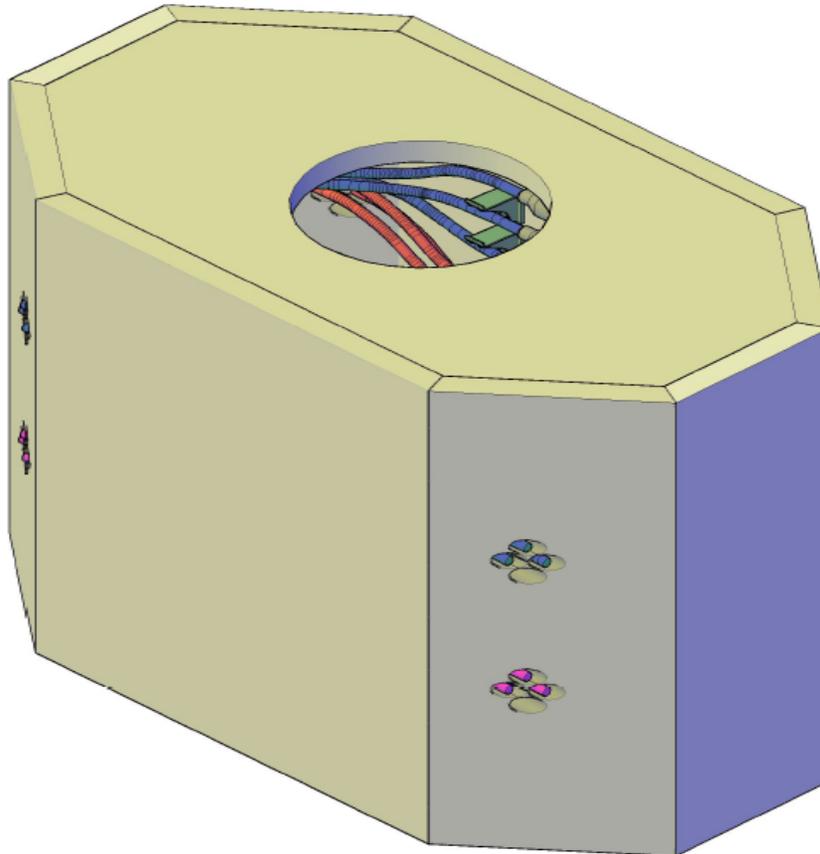


Fig.8.- Pozo de visita para media tensión, tipo X.

POZO DE VISITA PARA MEDIA TENSIÓN, TIPO X.	
MEDIO	NORMA
Banqueta.	CFE-PVMTBX
Arroyo	CFE-PVMTAX

Figura 8-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

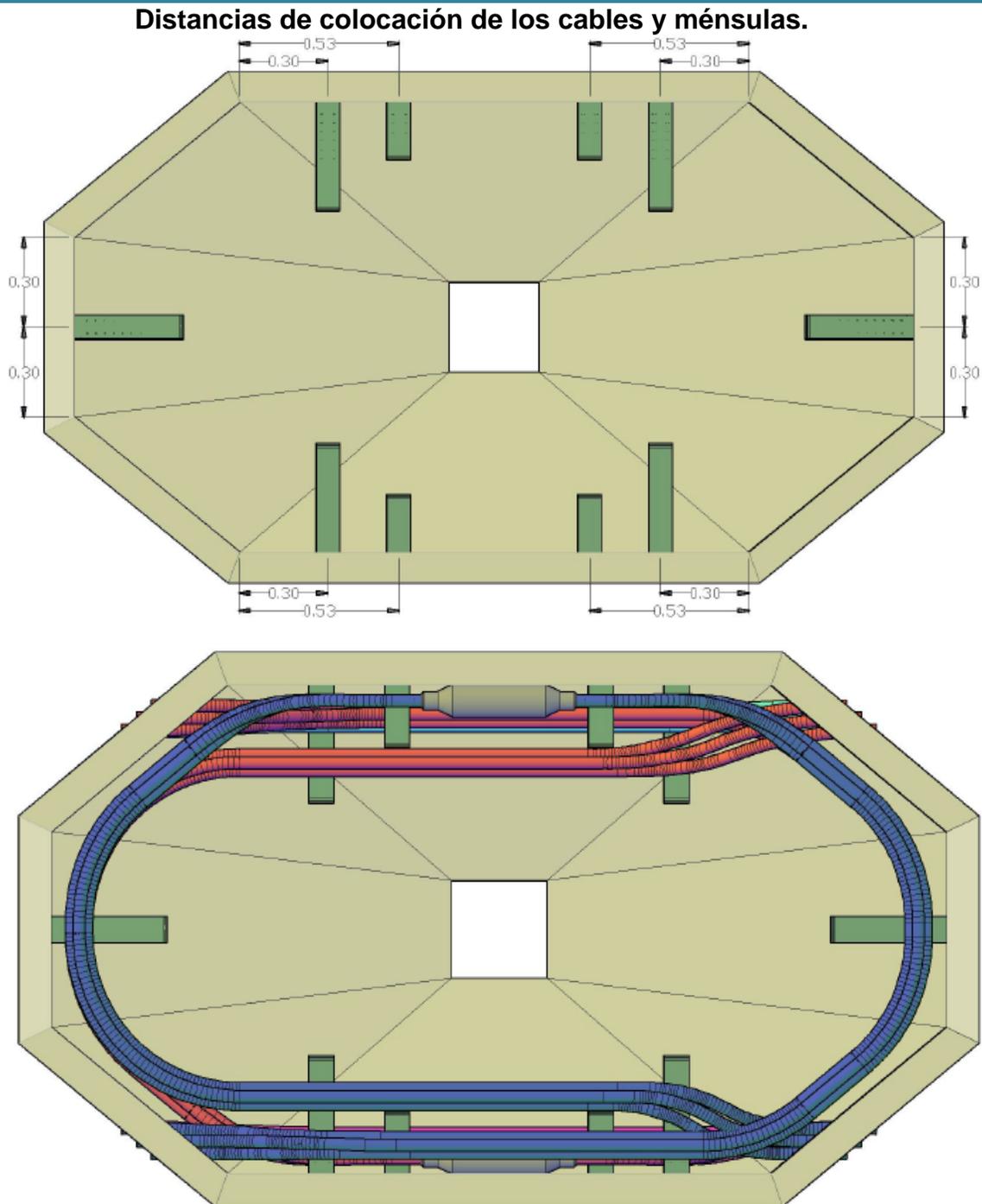


Fig.9.- Vista aérea del pozo de visita de media tensión, Tipo X.

Figura 9-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

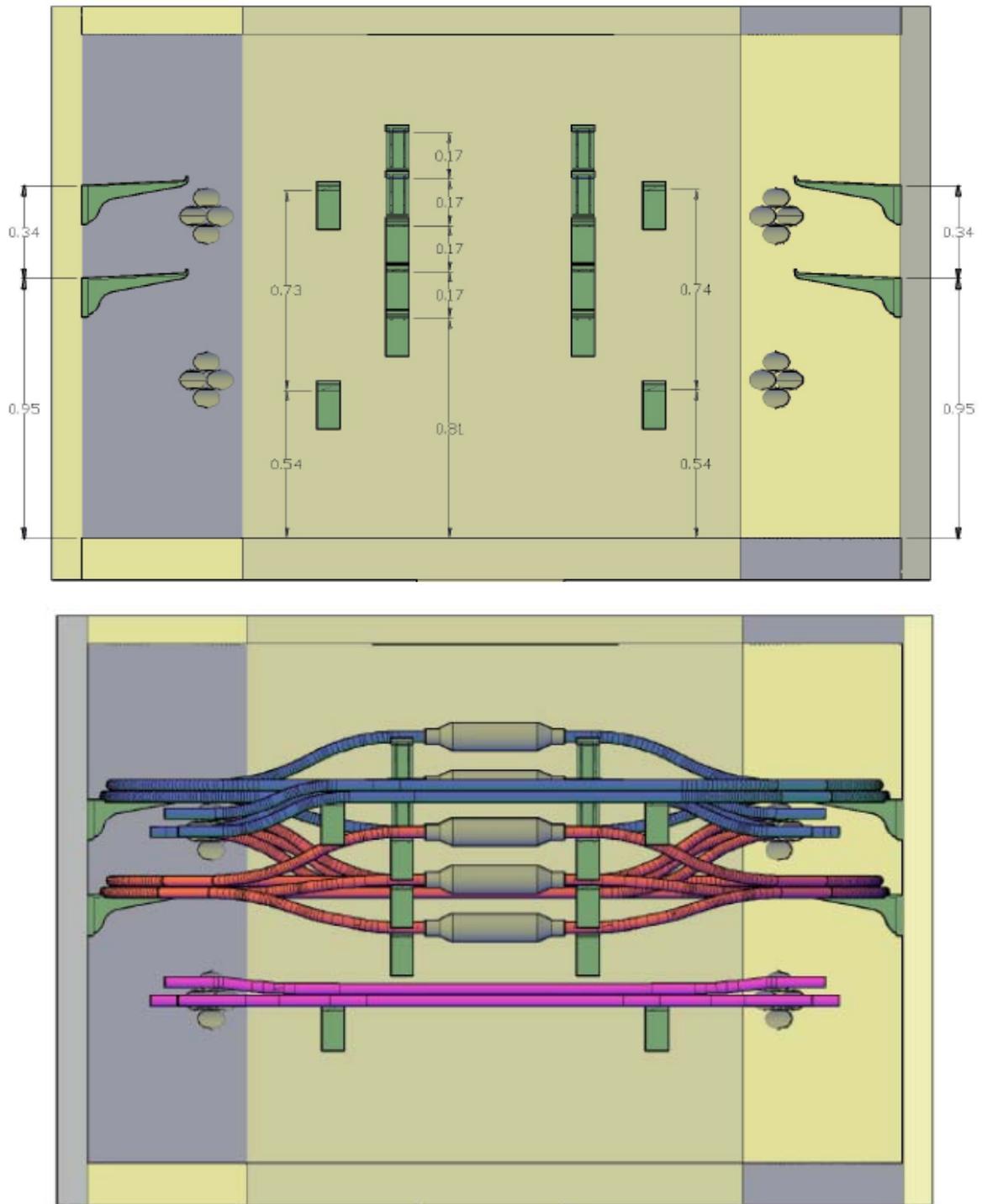


Fig. 10.- Vista transversal del pozo de visita de media tensión, Tipo X.

Figura 10-. Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

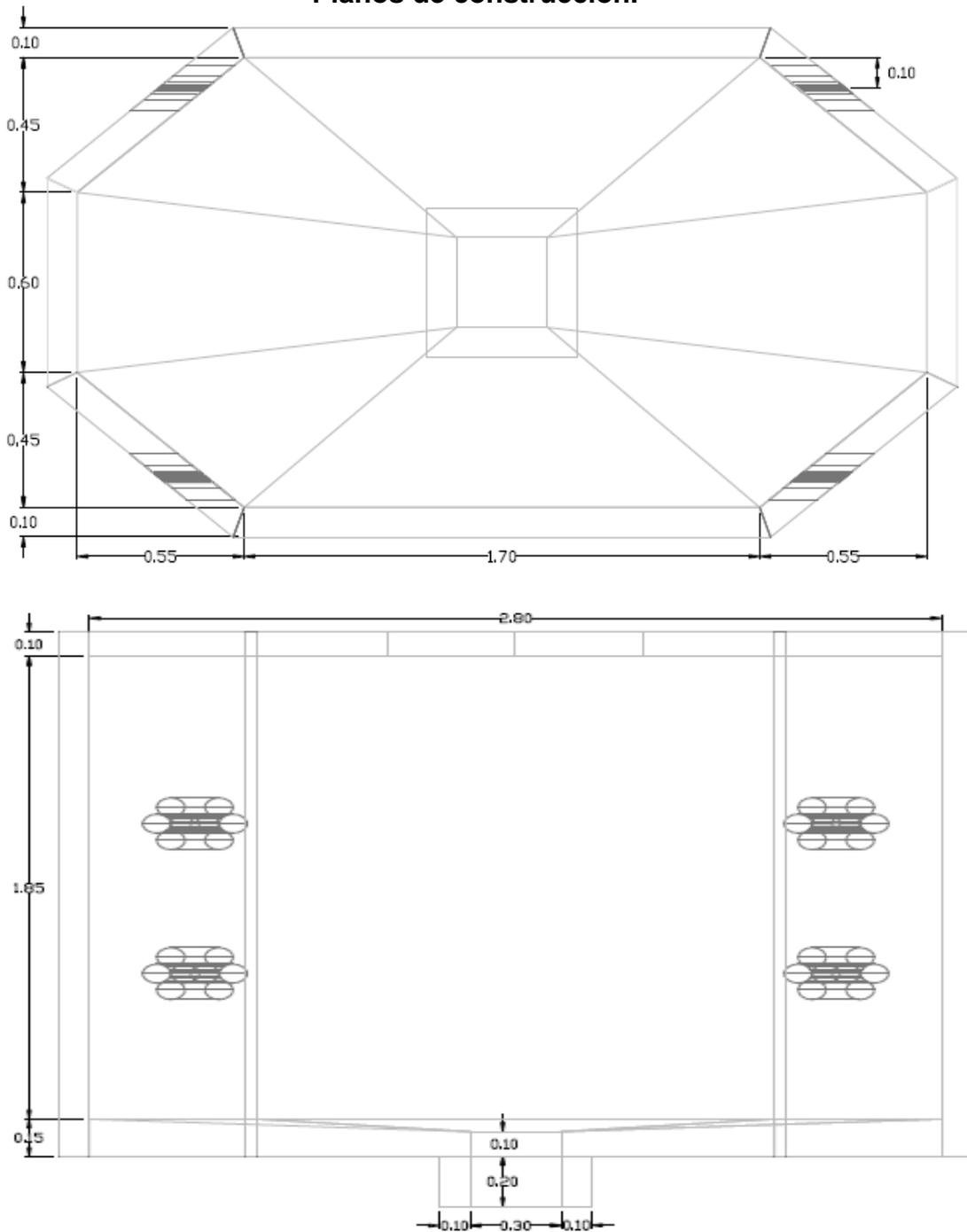


Fig.11.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo X.

Figura 11.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

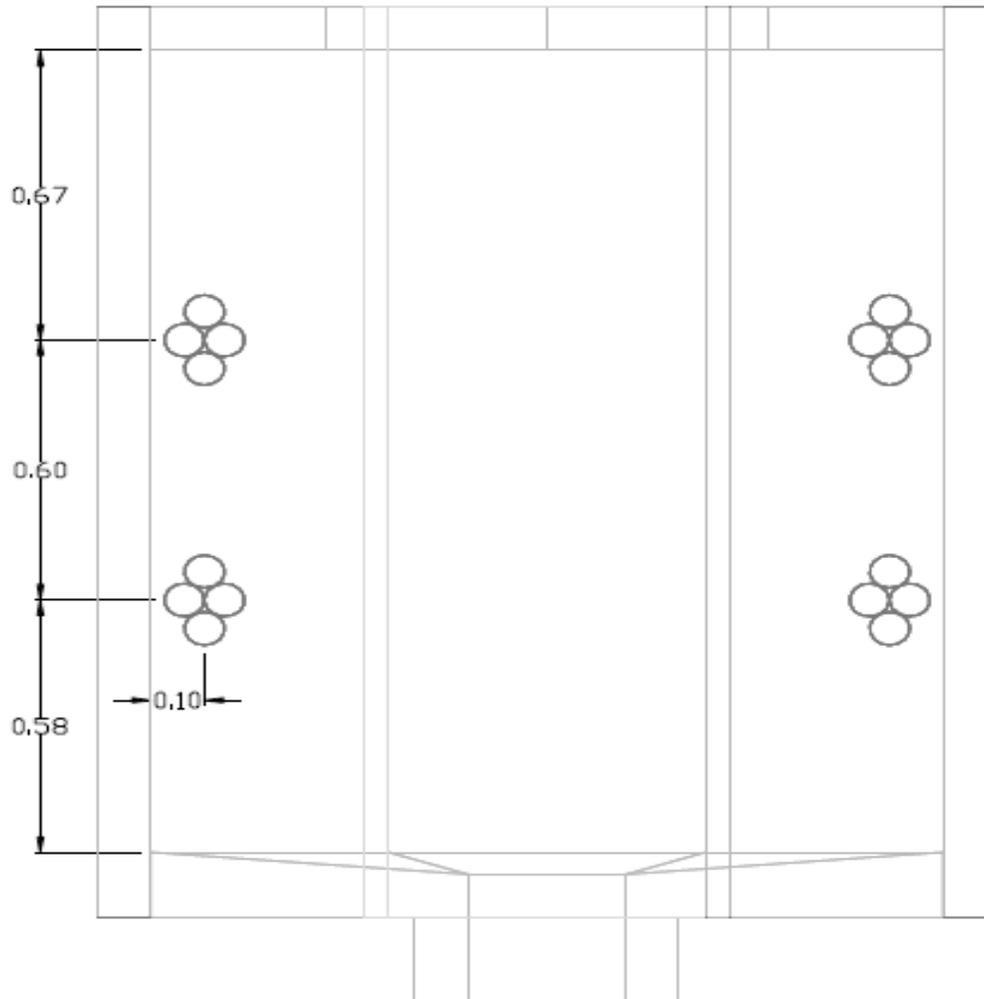


Fig.12.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo X.

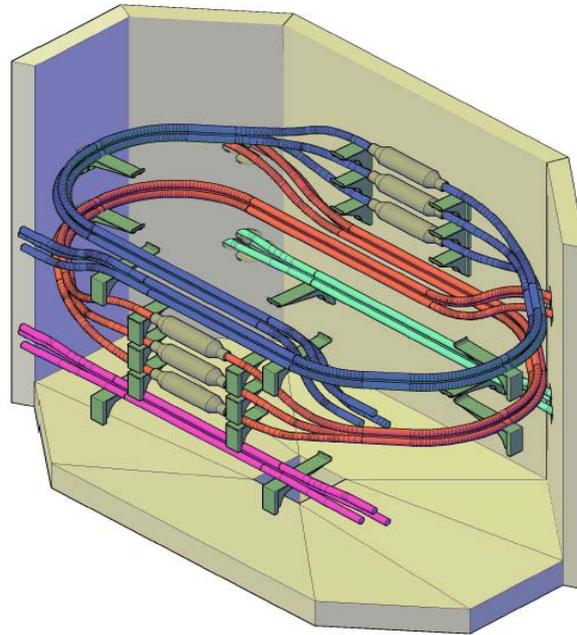


Fig.13.- Vista diagonal del pozo de visita de media tensión, tipo X.



Fig.14.- Vista real del pozo de visita de media tensión, tipo X.

Figura 13.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

- **Pozo de visita para media tensión, tipo T. (EMPALME EN T).**

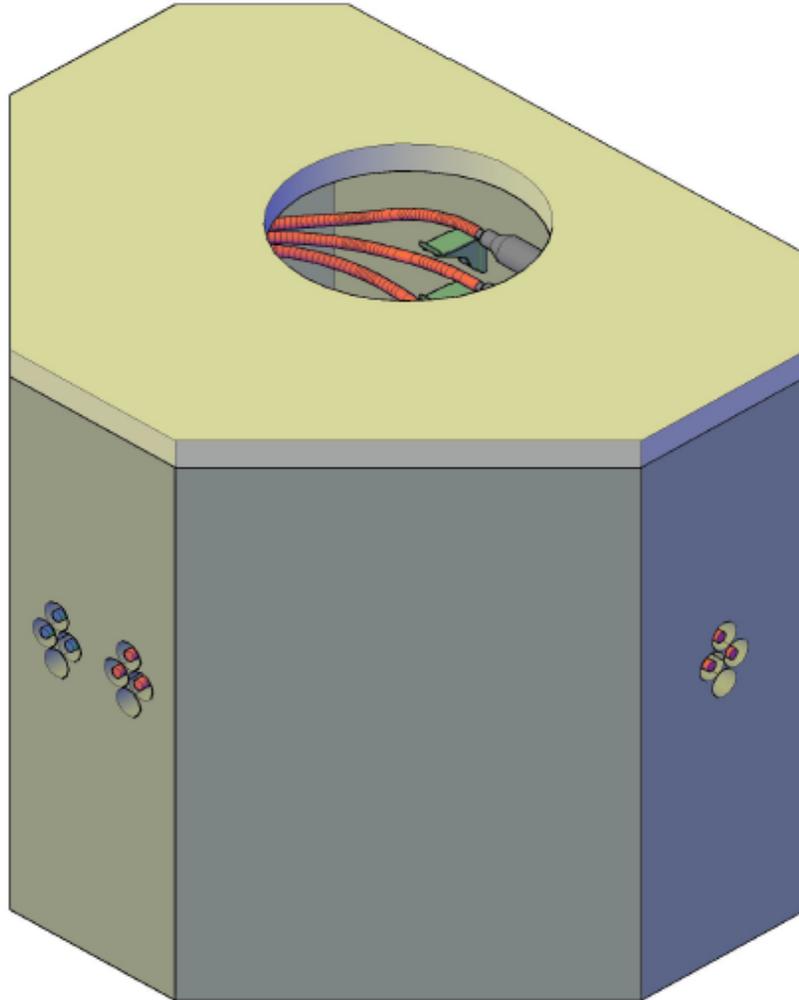


Fig.15.- Pozo de visita para media tensión, tipo T.

POZO DE VISITA PARA MEDIA TENSIÓN, TIPO T.	
MEDIO	NORMA
Banqueta.	CFE-PVMTBT
Arroyo	CFE-PVMTAT

Figura 15.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Distancias de colocación de los cables y ménsulas.

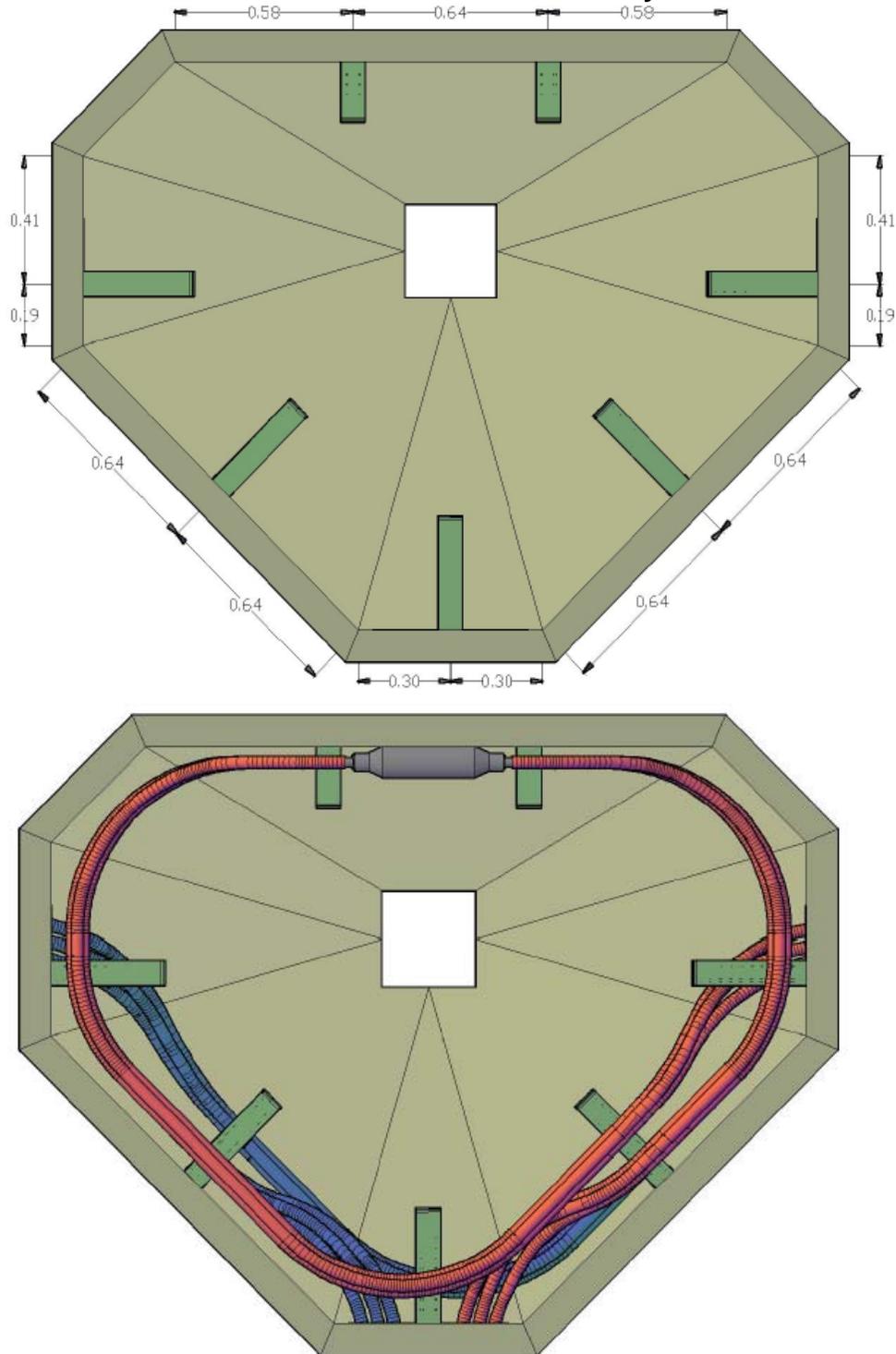


Fig.16.- Vista aérea del pozo de visita de media tensión, Tipo T.

Figura 16.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

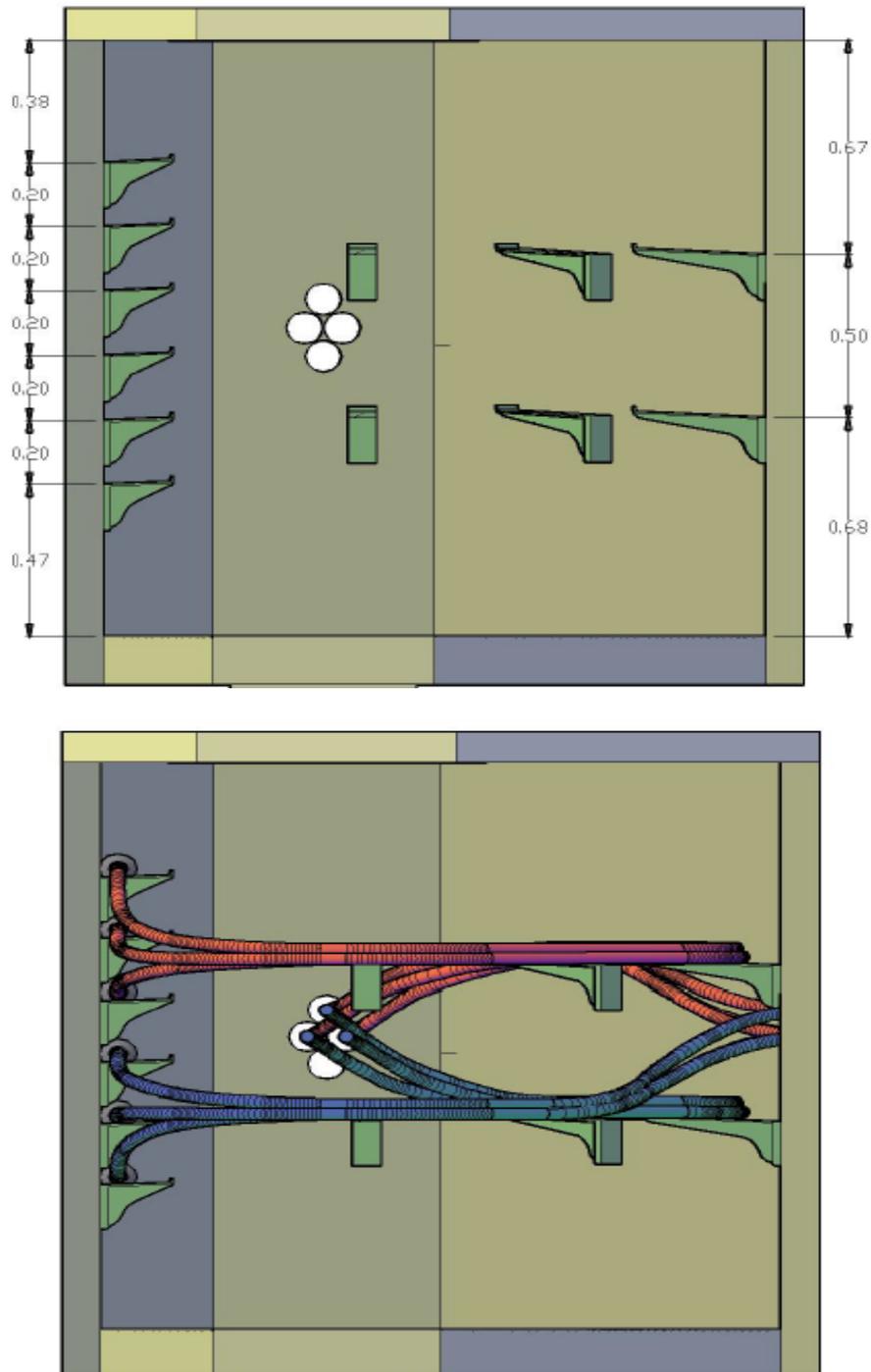


Fig. 17.- Vista transversal del pozo de visita de media tensión, Tipo T.

Figura 17.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.

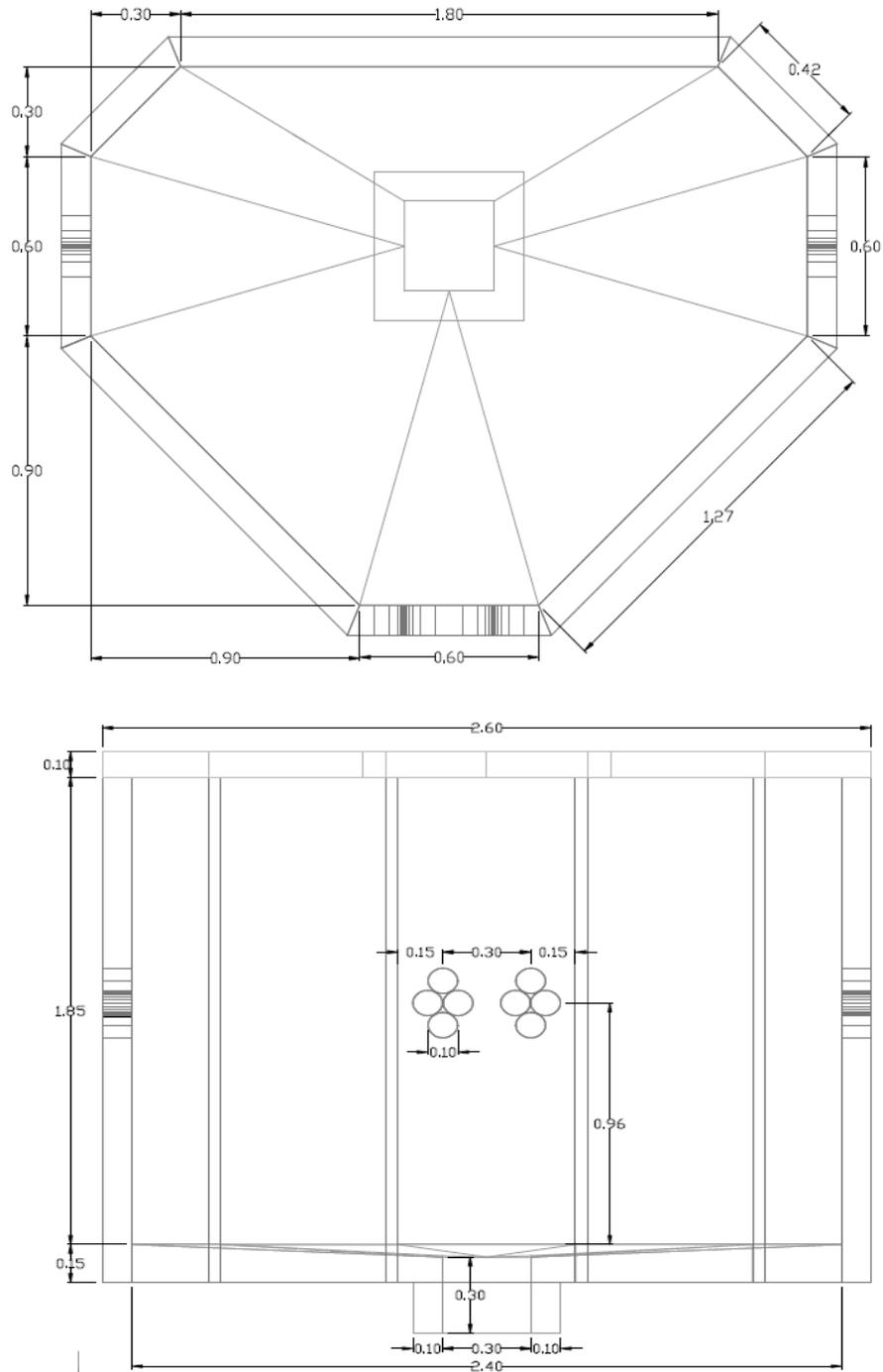


Fig.18.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo T.

Figura 18.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

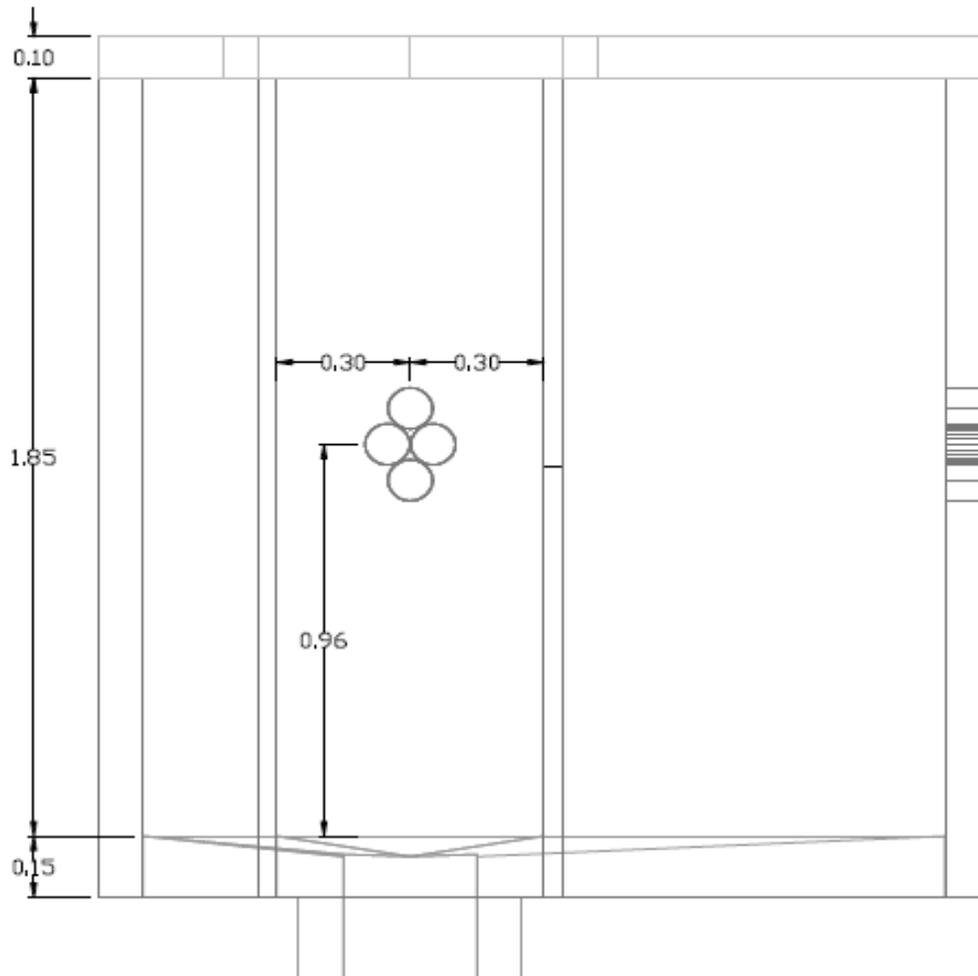


Fig.19.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo T.

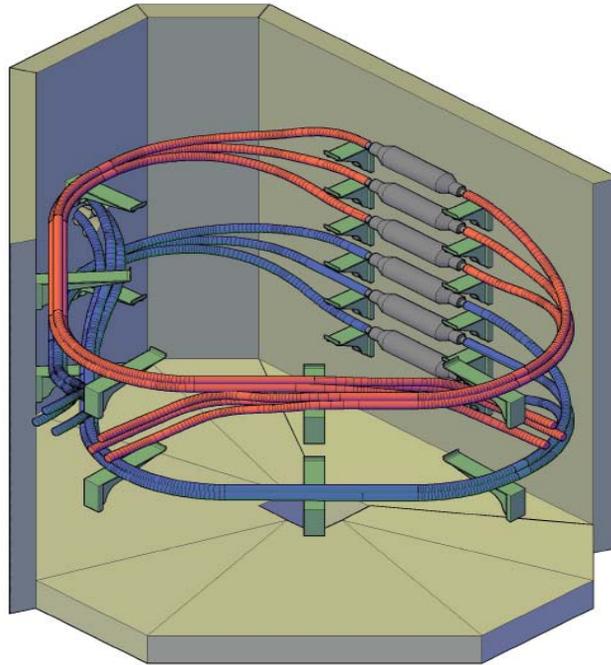


Fig.20.- Vista diagonal del pozo de visita de media tensión, tipo X.



Fig.21.- Vista real del pozo de visita de media tensión, tipo X.

Figura 20.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

- *Pozo de visita para media tensión, tipo L. (EMPALME EN L).*

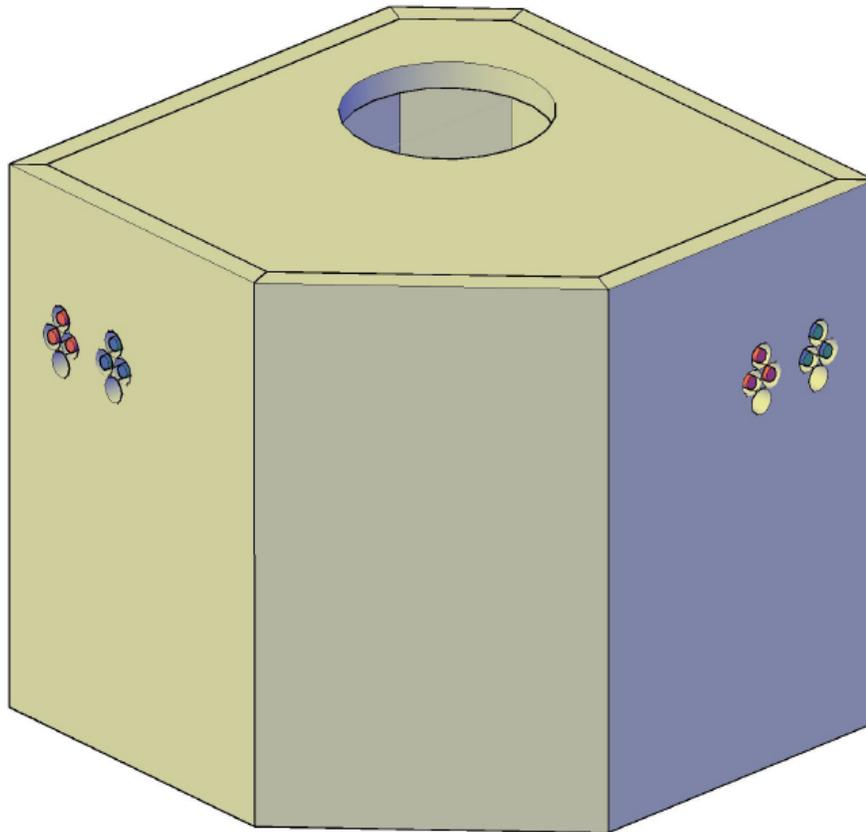


Fig.22.- Pozo de visita para media tensión, tipo L.

POZO DE VISITA PARA MEDIA TENSIÓN, TIPO L.	
MEDIO	NORMA
Banqueta.	CFE-PVMTBL
Arroyo	CFE-PVMTAL

Figura 22.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Distancias de colocación de los cables y ménsulas.

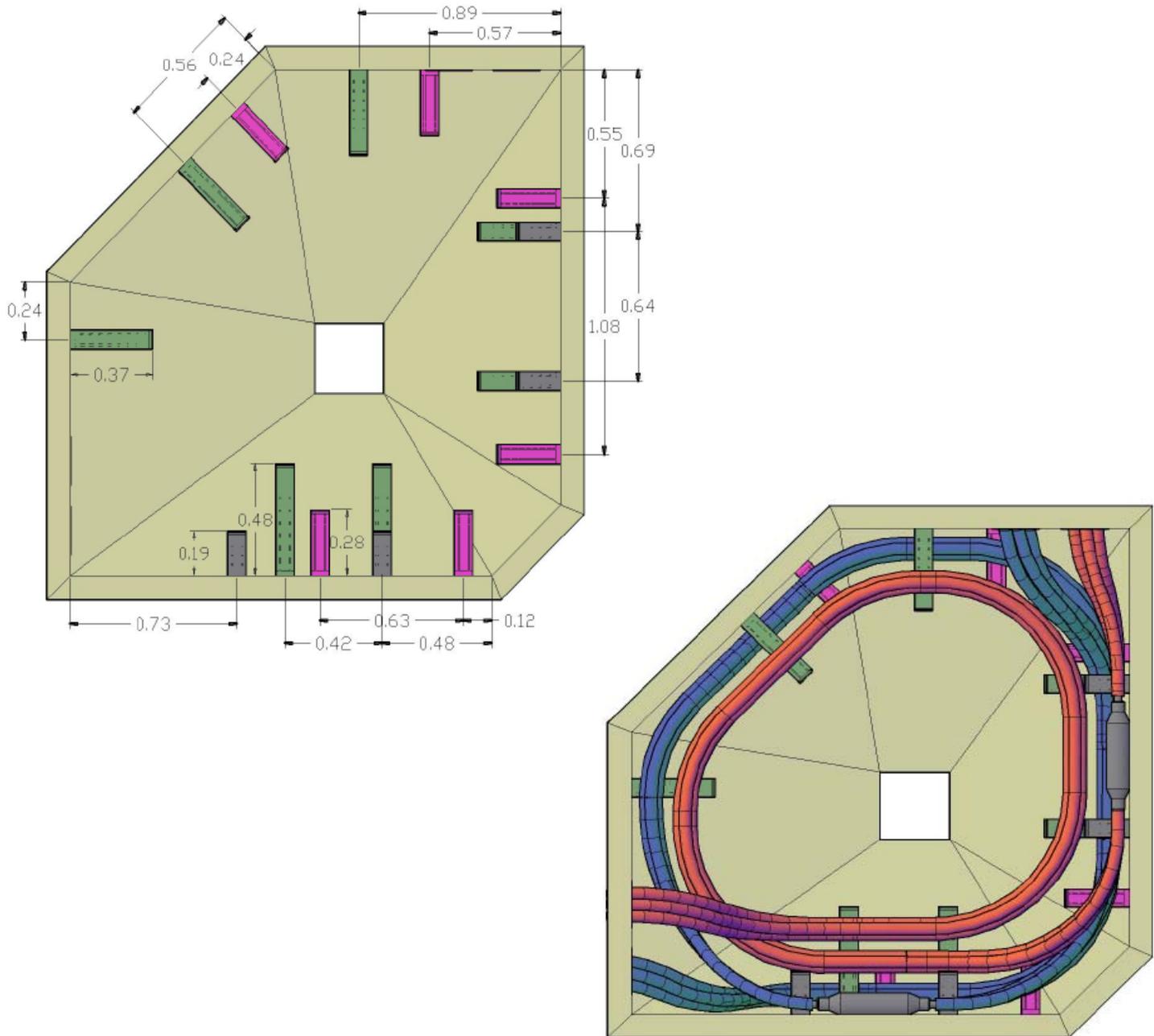


Fig.23.- Vista aérea del pozo de visita de media tensión, Tipo L.

Figura 23.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

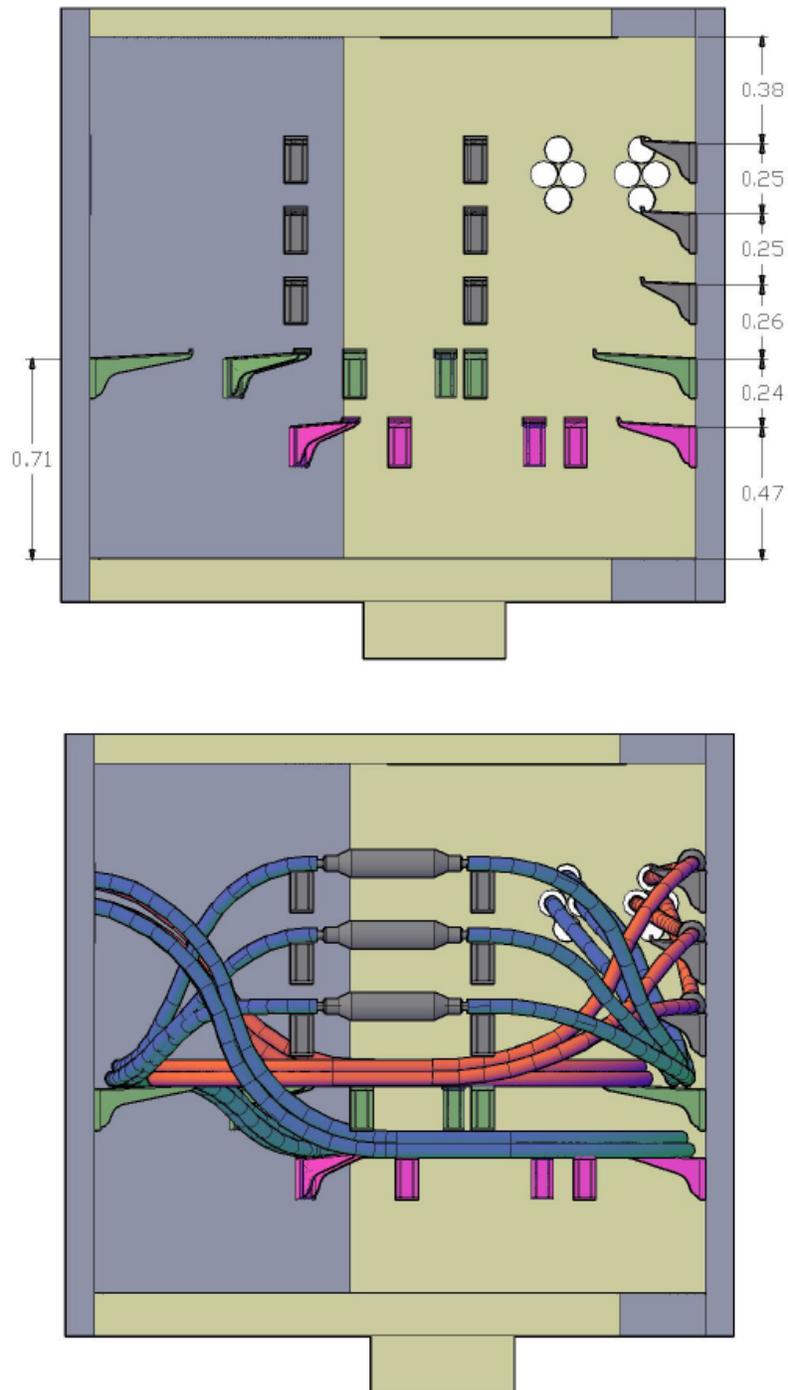


Fig. 24.- Vista transversal del pozo de visita de media tensión, Tipo L.

Figura 24.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Planos de construcción.

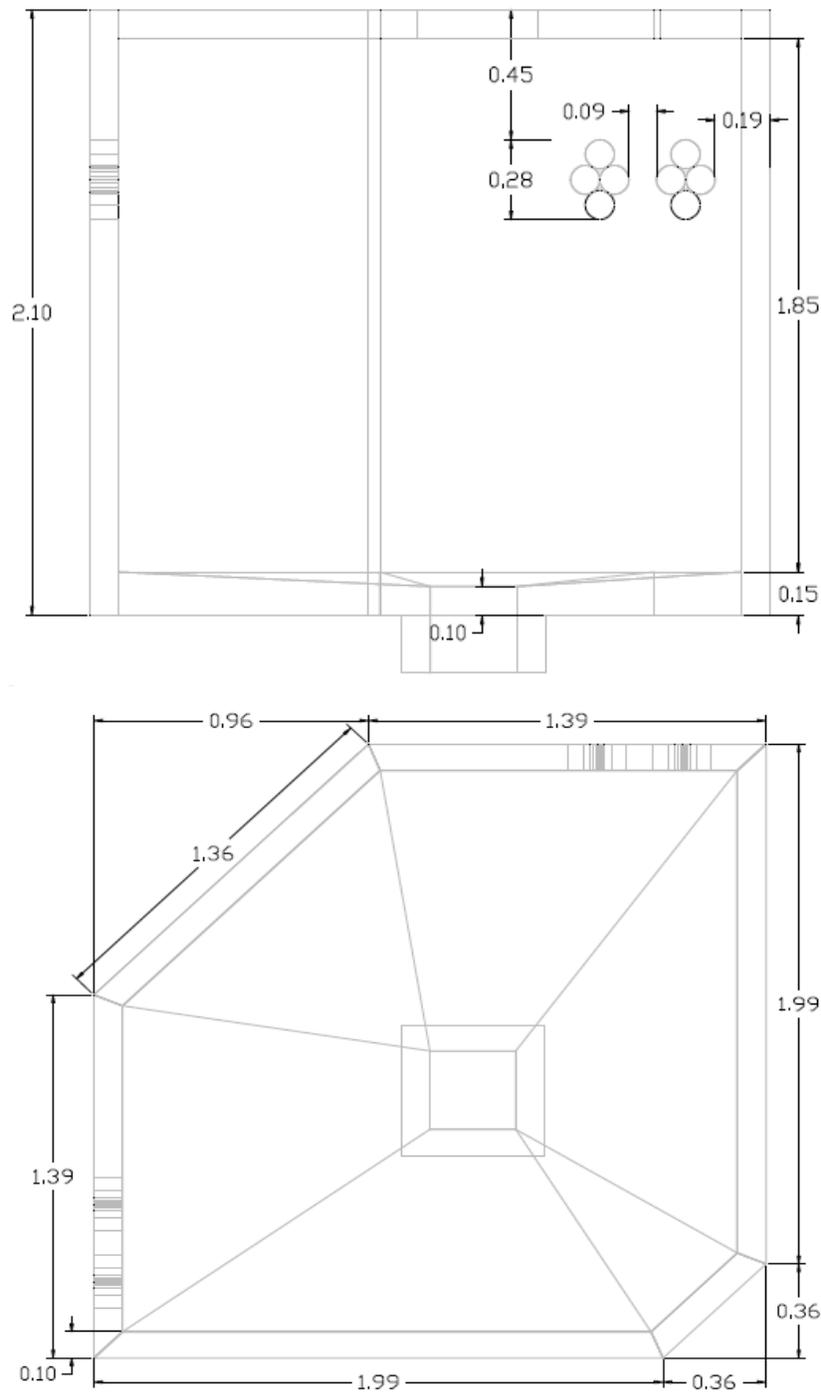


Fig.25.- Planos de construcción del pozo de visita de media tensión, tipo L.

Figura 25.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

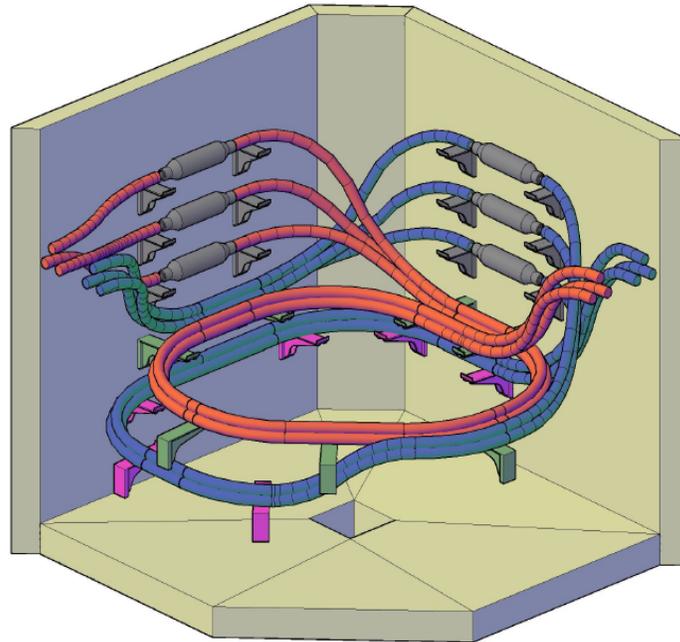


Fig.26.- Vista diagonal del pozo de visita de media tensión, tipo L.



Fig.27.- Vista real del pozo de visita de media tensión, tipo L.

Figura 26.- Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

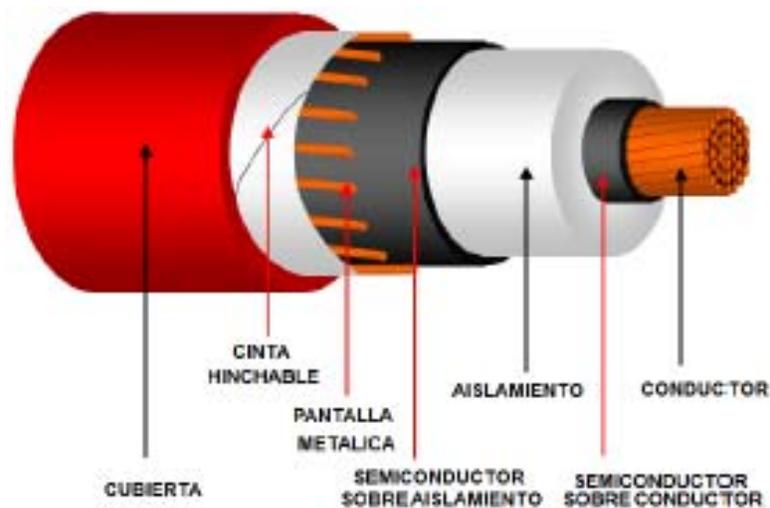
CAPITULO 6. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS.

Los equipos que se utilizan en la construcción de la red eléctrica subterránea de distribución son de gran importancia ya que estos aseguran una buena calidad en el funcionamiento de la red, además de una buena duración de dichos elementos a través del tiempo. Estos elementos deben cumplir con normas de calidad, para asegurar en los procesos de diseño, manufactura, entrega y puesta en servicio de los equipos para generar un alto grado de confianza en la red.

Se toman los datos, especificaciones y fichas técnicas de los fabricantes.

6.1.- Cable de energía aislado.

Un cable de energía aislado tiene la función de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecida durante un cierto tiempo. Los elementos que constituyen a un cable se muestran en la figura que sigue:





Un cable podría ser monoconductor o multiconductor dependiendo del número de conductores que tenga.

Para este caso se está utilizando un cable de energía clase 25 kV con aislamiento de XLPE-RA (Polietileno de Cadena Cruzada con Retardo a las Arborescencias) 133 % N.A., con conductor de cobre compacto sellado, calibre 4/0 AWG, pantalla de alambres de cobre con bloqueo contra la humedad, cinta de aluminio contra el ingreso radial de agua y cubierta de polietileno de alta densidad.

A continuación se describen cada una de las partes del cable utilizado en el párrafo anterior:

➤ **Conductor:**

Este constituye la parte central del cable y es la que está destinada a conducir la corriente eléctrica. Es un conductor de cobre redondo compacto, sellado contra la penetración longitudinal de agua.

➤ **Pantalla semiconductor extruida sobre el conductora:**

Es colocada inmediatamente sobre el conductor, se usa pantalla semiconductor para tensiones de 2kV. Tiene dos funciones, la primera es impedir la ionización del aire, que en otro caso produciría en la superficie de contacto entre el conductor metálico y el material aislante. Si este aislamiento fuera suprimido directamente del conductor la curvatura de los alambres provocaría burbujas de aire y al presentarse una tensión habría una ionización de aire dañándose el aislamiento. La segunda, la pantalla semiconductor sobre el conductor crea una superficie equipotencial uniforme, a la que las líneas de campo son perpendiculares.



- ***Aislamiento de XLPE-RA (Polietileno de cadena cruzada retardante a las arborescencias) 133 % N.A.***

Es un material dieléctrico y se coloca alrededor de la pantalla semiconductora y cuenta con un cierto espesor de acuerdo a la tensión de servicio. Su función es evitar que la corriente viaje por caminos no deseados, debido al potencial que hay entre el conductor a tierra, o entre conductores, así se evitan pérdidas grandes, cortocircuitos o perforaciones. El 133% N.A. proporciona un nivel de protección mayor para fallas que se liberen en no más de una hora.

- ***Pantalla semiconductora sobre el aislamiento extruido.***

Es utilizado para tensiones mayores a 5kV. Este es un material semiconductor que está en contacto con el aislamiento y es compatible con este. Esta pantalla semiconductora junto con la pantalla metálica tiene la función de crear una superficie equipotencial para obtener una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos, con lo que se eliminan los esfuerzos longitudinales y tangenciales.

- ***Cinta expandible semiconductora sobre semiconductor.***

Evita la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.

- ***Pantalla metálica.***

Está formada por alambres de cobre suave aplicados helicoidalmente. Además de cumplir con las mismas funciones que la pantalla semiconductora sobre el aislamiento reduce el peligro de descargas eléctricas al personal, pues al estar conectada físicamente a tierra se evita una diferencia de potencial posible entre la cubierta del cable y tierra, evitando a su vez que el personal tenga un choque eléctrico al estar en contacto con la superficie del cable.

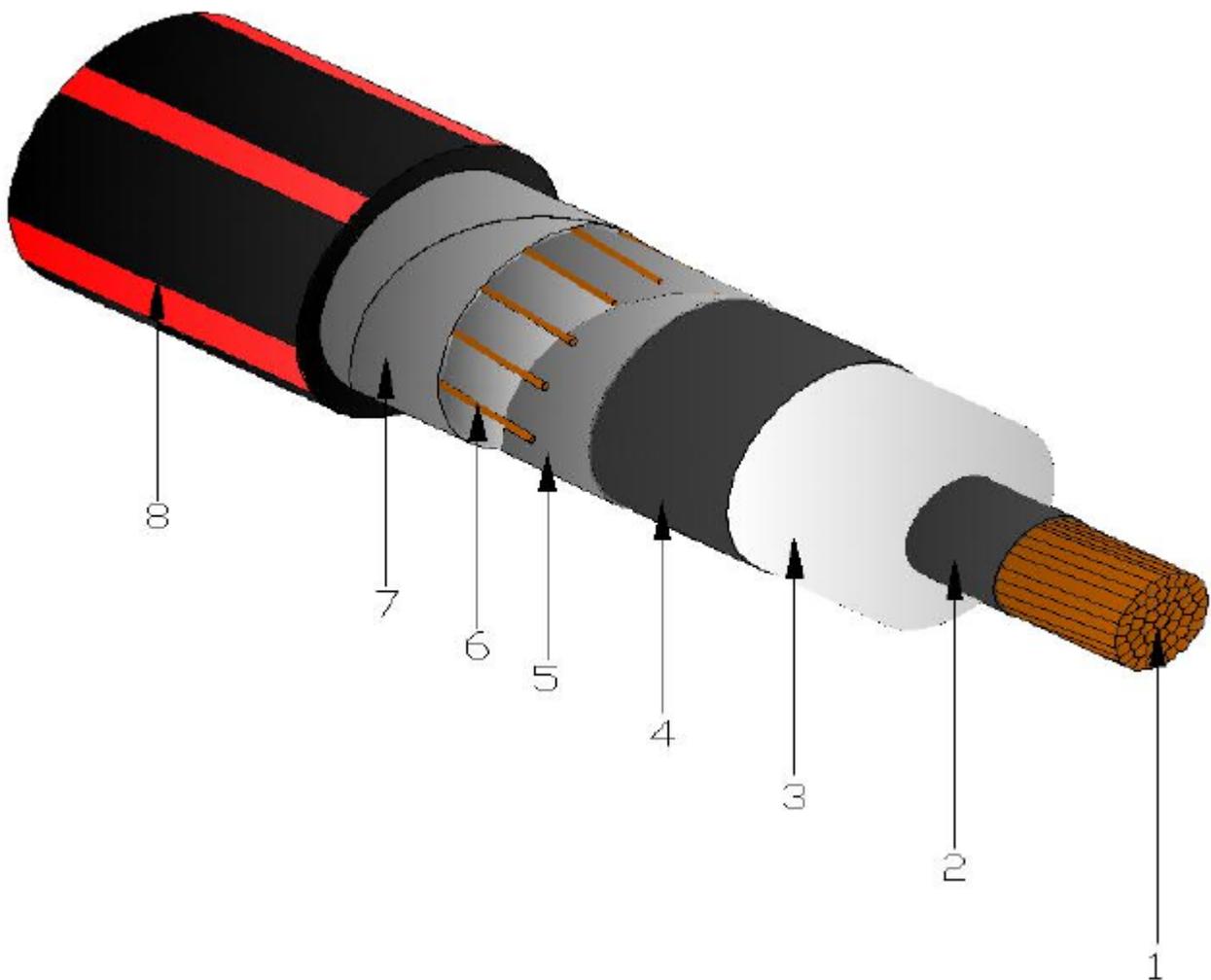
- **Cinta expandible aislante sobre alambres de cobre.**

Evita la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.

- **Cubierta externa.**

Hecha de polietileno de alta densidad en color negro con franjas rojas, se encarga de proteger el cable del medio ambiente.

El cable seleccionado para ser utilizado en la red eléctrica de Ciudad Universitaria se describe a continuación:





1.- Conductor.- Conductor de cobre redondo compacto sellado contra la penetración longitudinal de agua. Constituye la parte central del cable y es la destinada a conducir la corriente eléctrica.

2.- Pantalla semiconductor extruida sobre el conductor.- Se usa pantalla semiconductor sobre el conductor para tensiones mayores de 2kV y se coloca inmediatamente sobre el conductor. Cumple con dos funciones, por un lado, impide la ionización del aire, que en otro caso produciría en la superficie de contacto entre el conductor metálico y el material aislante. Si el aislamiento fuera extruido directamente sobre el conductor la curvatura de los alambres provocaría la formación de burbujas de aire y al presentarse una tensión habría una ionización de este aire dañándose el aislamiento. Por otro lado, la pantalla semiconductor sobre el conductor crea una superficie equipotencial uniforme, a la que las líneas de campo eléctrico son perpendiculares.

3.- Aislamiento de XLPE-RA (Polietileno de cadena cruzada retardante a las arborescencias) 133% N.A.- Es un material dieléctrico que se coloca alrededor de la pantalla semiconductor y cuenta con un espesor adecuado a la tensión del servicio del cable. Este dieléctrico evita que la corriente viaje sobre trayectorias no deseadas, debido a la diferencia de potencial que hay entre el conductor a tierra, o entre conductores, evitando pérdidas muy grandes, cortocircuitos o perforaciones. El 133% de N.A. proporciona un nivel de protección mayor para fallas que se liberen en no más de una hora.

4.- Pantalla semiconductor sobre el aislamiento extruido.- Se utiliza en circuitos mayores de 5 kV. Consiste en un material semiconductor en contacto con el aislamiento y que es compatible con este. La pantalla semiconductor en conjunto con la pantalla metálica desempeña la función de crear una superficie equipotencial para obtener una distribución radial y simétrica de los esfuerzos



eléctricos, con lo que se eliminan los esfuerzos longitudinales y tangenciales. Además la pantalla sobre el aislamiento provee al cable de una capacitancia a tierra máxima y uniforme evitando reflexiones en los puntos de variación de impedancia del terreno por donde pasa el conductor y sobretensiones dañinas al aislamiento.

5.- Cinta expandible semiconductor sobre semiconductor.- Evita la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.

6.- Pantalla metálica.- Formada por alambres de cobre suave aplicados helicoidalmente. Además de cumplir las mismas funciones que la pantalla semiconductor sobre el aislamiento, reduce el peligro de descargas eléctricas al personal, pues al estar conectada físicamente a tierra se evita una diferencia de potencial posible entre la cubierta del cable y tierra, evitando a su vez que el personal tenga un choque eléctrico al estar en contacto con la superficie del cable. La pantalla metálica aterrizada proporciona un trayectoria a tierra de las corrientes capacitivas existentes.

7.- Cinta expandible aislante sobre alambres de cobre.- Evita la migración longitudinal de agua en la pantalla metálica.

8.- Cubierta externa.- De polietileno de alta densidad en color negro con franjas rojas, se encarga de proteger el cable del medio ambiente.



6.2.- Transformador de distribución.

Se considera a un transformador de distribución a aquel que tiene una capacidad nominal entre 5 hasta 500 kVA y una tensión eléctrica nominal de hasta 34.5 kV y hasta 15 kV nominales en el lado secundario.

Los transformadores son dispositivos que funcionan con el principio de inducción electromagnética y están constituidos básicamente por dos devanados también llamados bobinas, las cuales se encuentran sobre un núcleo de hierro dulce o hierro silicio. Comúnmente a los devanados se les denomina primario y secundario y esto depende a donde corresponda la tensión alta o baja, respectivamente. Cuando existan transformadores con mas devanados, en este caso habrá un devanado terciario cuya tensión es menor que la del secundario.

La forma en la que funciona este tipo de elementos se deriva de aplicar una fuerza electromotriz alterna en los extremos de la bobina primaria, donde las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna tendrán por efecto la aparición de un campo magnético variable que depende de la frecuencia de la corriente. Al crearse este campo magnético, por inducción aparecerá en los extremos de la bobina secundaria una fuerza electromotriz. La relación entre estas fuerzas electromotrices tanto de la aplicada en el devanado primario como en el devanado secundario es directamente proporcional al número de espiras del devanado primario y del devanado secundario.

Esta relación es muy importante en las características del transformador y es llamada con frecuencia *relación de vueltas del transformador o relación de transformación*.

El transformador consta de varias partes cuyo diseño y fabricación son importantes para el buen y óptimo funcionamiento de dicho elemento. Estos elementos se mencionan a continuación:



- ✓ **Núcleo.** Éste constituye el circuito magnético, fabricado en lámina de hierro silicio y tiene un espesor de 0.28 mm. Las diferentes chapas que forman el núcleo deben estar cortadas en ángulo de 45 grados esto para aprovechar las características del material en cuestión de laminación y para reducir el nivel del ruido se deben montar solapadas. El núcleo puede ir unido a la tapa y levantarse con ella, o puede ir unido a la pared del tanque, lo cual produce mayor resistencia durante las maniobras mecánicas de transporte.
- ✓ **Bobinas.** Constituyen el circuito eléctrico y están formadas por alambre de cobre o de aluminio. Los conductores se forran de material aislante que puede tener diferentes características dependiendo de la tensión a la que trabaje la bobina, la temperatura y el medio en que va a ser sumergida. Las bobinas deben tener conductos de enfriamiento radiales y axiales que permitan fluir el aceite y eliminar el calor generado en su interior. Las bobinas deben estar bien sujetadas para que puedan soportar los esfuerzos mecánicos que se deben a su propio peso y también los que se dan del tipo electromagnético los cuales se producen durante los cortocircuitos. Además las bobinas, según la capacidad y la tensión del transformador, pueden ser de tipo rectangular para pequeñas potencias, de tipo cilíndrico para potencias medianas y de tipo galleta para las potencias altas. Los diferentes devanados en un transformador deben ser independientes y estar totalmente y uniformemente aislados. Las conexiones no deben realizarse entre elementos fabricados con materiales que puedan provocar corrosión electroquímica por par galvánico. Además, los materiales de las conexiones no deben presentar coeficientes de dilatación diferentes que puedan provocar roturas, aflojamientos o aparición de posibles puntos calientes.



- ✓ **Tanque.** El tanque generalmente es de acero y en este elemento se sumerge las bobinas y el núcleo, el tanque debe ser resistente a la corrosión. Para lograr una disipación del calor que se genera internamente debido a las pérdidas eléctricas en los devanados y en el núcleo y para que su área no sea excesiva, lleva unos radiadores.

- ✓ **Aislamiento.** Esta es una característica muy importante acerca de los transformadores, ya que la vida de un transformador depende de la conservación de su sistema de aislamiento. El aislamiento de un transformador se divide en dos grupos:
 - Aislamientos sólidos.
 - Aislamientos líquidos.

Para el objeto de estudio se enfoca solamente a los aislamientos líquidos.

Los aislamientos líquidos se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Aceites de uso general. Son aceites de origen mineral de base parafínica o nafténica, los cuales son obtenidos mediante procesos de refinación y extracción adecuados a partir de determinadas fracciones del petróleo natural.
- Aceites aislantes de seguridad. Son aceites de origen mineral sintético, destinados para transformadores que deben ser instalados en lugares donde los riesgos de explosiones o incendios deben ser minimizados. Estos aceites deben presentar características de no inflamabilidad.
- Aceite de mineral de alto punto de ignición. Son aceites obtenidos a través de refinación del petróleo que debido a su alto peso molecular son de difícil inflamación, por lo cual presentan la característica de no propagar la llama. A temperatura ambiente presenta una viscosidad muy alta, pero a las



temperaturas de operación del transformador su viscosidad es comparable con la de los aceites de uso general.

- Aceites aislantes de silicona. Son productos sintéticos a base de polidimetilsiloxano. Presentan características de no inflamabilidad, tiene buenas características eléctricas, excelente estabilidad química y térmica y buena compatibilidad con los materiales del transformador. Su viscosidad a temperaturas de operación del transformador es un poco mayor a la de los aceites de uso general, siendo un poco más baja que la de los aceites de alto punto de ignición.
- Aceite aislante a base de ésteres. Como su nombre lo indica son productos a base de ésteres sintéticos que pueden presentar buenas características de no inflamabilidad, presentan buenas características eléctricas y su principal ventajas la biodegradabilidad siendo sus productos de biodegradación no tóxicos y encontrados en la propia naturaleza.
- Aceite vegetal biodegradable. Esta hecho de líquido natural éster a base de aceites vegetales de semillas de colza, soja y girasol. Ofrece un elevado punto de combustión y de inflamación, lo que evita la necesidad de instalar sistemas fijos de extinción de incendios en los centros de transformación, presenta otras ventajas como el hecho de ser biodegradable en más de un 99%, además de ser reciclable y no tóxico. Las características de este dieléctrico amplían la vida del sistema de aislamiento entre 5 y 8 veces, debido a su mayor capacidad de absorción de la humedad que disminuye el envejecimiento del papel usado en los aislantes. También permiten un aumento de la sobrecarga admisible y la prolongación de la vida de los aislantes y el transformador.



Gracias a las características que ofrece el *Aceite vegetal biodegradable* es el aceite líquido que se ha seleccionado para los transformadores que se instalarán en las diversas subestaciones derivadas de la red universitaria.

- ✓ **Cambiador de derivaciones.** Es el mecanismo que permite regular la tensión de la energía que fluye de un transformador. Puede ser de operación manual y automática, y se puede instalar en el lado de alta o de baja tensión según de la capacidad y tensión del aparato, aunque conviene instalarlos en alta tensión, debido a que su costo disminuye en virtud de la que la intensidad de corriente es menor.

6.2.1.- Tipos de transformadores.

Existen cuatro tipos de transformadores de distribución básicos:

- Transformador de distribución tipo pedestal.
- Transformador de distribución tipo poste.
- Transformador de distribución tipo subestación.
- Transformador de distribución tipo sumergible.

A continuación se describen las características de cada uno.

- Transformador de distribución tipo pedestal.

Está integrado por un transformador de distribución con un gabinete en donde se incluye accesorios para la conexión con sistemas subterráneos, este conjunto está destinado para instalarse en un pedestal y para servicio en interperie.



Transformador de distribución tipo pedestal.

- Transformador de distribución tipo poste.

Este tipo de transformador esta adecuado para poderse sujetar o instalar en un poste o en alguna estructura similar.



- Transformador de distribución tipo subestación.

Este transformador de distribución por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en una plataforma, cimentación o estructura similar y su acceso está limitado por un área restrictiva.



Transformador tipo subestación.

- Transformador de distribución tipo sumergible. Este tipo de transformadores de distribución están diseñados para ser instalados en un pozo o bóveda y que por lo tanto estará expuesto a sufrir inundaciones.



Transformador tipo sumergible

Los transformadores de distribución trifásicos de 23000-220/127 V y 23000-440/254 V que se instalarán en la red eléctrica deben cumplir con algunas características importantes como son:



- **Operación.**

Tipo interior de frente muerto.

- **Conexión de los devanados.**

Delta – Estrella.

- **Líquido aislante.**

Los transformadores deben suministrarse con el líquido aislante biodegradable de origen vegetal de alta temperatura, para su buen funcionamiento.

Los transformadores utilizados en la UNAM deben de suministrarse con un sistema de monitoreo para controlar el comportamiento físico de algunos componentes del transformador, lo cual garantiza la confiabilidad e integridad del mismo, cuenta con un protocolo SCADA.

Los parámetros que se pueden monitorear son los siguientes:

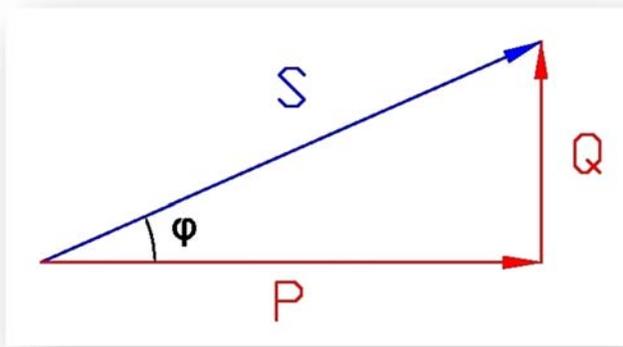
- Nivel de aceite.
- Nivel de temperatura.
 - Nivel de temperatura del transformador.
 - Nivel de temperatura del medio ambiente.
 - Nivel de temperatura del aceite.
- Nivel de corriente.
- Nivel de presión.

Con estos parámetros y conociendo la tensión del secundario, se pueden obtener:

- Potencia.

La potencia eléctrica es la cantidad de energía que entrega o que absorbe un elemento en un tiempo determinado, su unidad es el Watt. Existe la potencia aparente (S), la potencia reactiva (Q) y la potencia activa (P).

La potencia aparente (S) es la suma vectorial de la potencia activa o real y de la potencia reactiva, se mide en voltampere (VA). La potencia aparente nos indica que cuando el factor de potencia es unitario la red no tiene pérdidas, es decir la red de alimentación de un circuito no solo satisface la energía consumida por los elementos resistivos si no que también ha de satisfacer con la que van a almacenar los elementos capacitivos e inductivos.



$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Triángulo de potencia.

La potencia activa o real (P) representa la capacidad de un circuito para realizar procesos de transformación de energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otro tipo de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, etc. Por lo tanto esta es la potencia realmente consumida por los circuitos y cuando se habla de demanda eléctrica es esta potencia la utilizada para determinar la misma. Se mide en watts (W).

La potencia reactiva (Q) solo se presentará cuando existan elementos inductivos y capacitivos en un circuito, la potencia reactiva no produce trabajo, se mide en voltampere reactivos (VAR) y es utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos, el flujo de esta potencia es de los elementos inductivos o capacitivos a la fuente de alimentación.



- Energía eléctrica.

La energía eléctrica es una forma de energía que resulta de la diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se le pone en contacto con un elemento conductor, de esta manera se obtiene trabajo. La energía eléctrica se manifiesta como una corriente eléctrica que es un flujo de electrones a lo largo de un material conductor.

- Armónicos.

En los sistemas de corriente alterna los armónicos son preocupantes ya que ocasionan efectos negativos en la red eléctrica. Es habitual trabajar únicamente con valores correspondientes a la distorsión armónica total (THD).

Por ejemplo los motores de velocidad variable y grandes unidades de UPS son algunos equipos que generan armónicos.

Los problemas que pueden generar los armónicos son: la sobrecarga de los conductores neutros, sobrecalentamiento de los transformadores, disparos intempestivos de los interruptores automáticos y sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia, entre otros.

Existen métodos para reducir los armónicos, como la utilización de filtros pasivos y transformadores de aislamiento.

- Distorsión armónica.

Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal se dice que esta distorsionada, esta distorsión se puede deber a fenómenos transitorios tales como arranques de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito, entre otras.



En los sistemas eléctricos es frecuente encontrar señales que tengan una cierta distorsión, que cuando es baja no afecta la operación de los equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema.

El concepto de armónicas proviene del teorema de Fourier y define que, bajo ciertas condiciones analíticas, una función periódica cualquier puede considerarse integrada por una suma de funciones senoidales, incluyendo un término constante en caso de asimetría respecto al eje de las abscisas, siendo la primer armónica, denominada también señal fundamental, del mismo periodo y frecuencia que la función original y el resto serán funciones senoidales cuyas frecuencias serán múltiplos de la fundamental. Estas componentes son denominadas armónicas de la función original.

La distorsión armónica total (THD) es la relación entre el contenido armónico de la señal y la primera armónica o fundamental, su valor se encuentre entre 0% e infinito. Es el parámetro de distorsión más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales (I y V). Es útil cuando se trabaja con equipos que deben responder sólo a la señal fundamental, como en el caso de relevadores de protección.

- Transitorios

Los transitorios son señales de respuesta de un circuito eléctrico o red eléctrica que con el tiempo se extingue, es decir son señales que no son constantes y se presentan en un lapso de tiempo determinado, a diferencia de la respuesta permanente de la red eléctrica que es la señal que se



mantiene constante una vez que se excita el circuito eléctrico. La causa por las que se originan los transitorios es por apertura o cierre de interruptores, transferencia de cargas, etc.

- Tensión eléctrica.

La tensión eléctrica o también llamada diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, esta se mide con el voltímetro.

En otras palabras la tensión es la presión o diferencia de potencial de una carga entre dos puntos en un circuito eléctrico campo eléctrico, es decir, el trabajo realizado por una fuerza externa para mover la carga de un punto a otro.

Su unidad de medida es el volt o voltio y para medir la tensión se conecta el voltímetro en paralelo a la línea para efectuar la medición.

- Corriente eléctrica.

La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico. Cuando se tiene conectada una fuente de tensión a través de conductores a un dispositivo, las cargas eléctricas fluyen desde un polo a otro; a este flujo se le llama corriente eléctrica e indica la cantidad de flujo hacia un punto. Su unidad es el ampere o amperio.

- Factor de potencia.

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S). Es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. También se puede decir que el



factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, es decir da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa, por esta razón el factor de potencia es unitario para cargas puramente resistivas y de cero para elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia.

- Sags/Swell.
 - “Sag”. Es la disminución o reducción en el valor efectivo del voltaje de alimentación con duración de medio ciclo a 3600 ciclos (de 8.333 ms a 60s). Estas disminuciones de voltaje se presentan cuando hay un corto circuito en el sistema eléctrico, la magnitud de la disminución depende de la cercanía del corto circuito también estas disminuciones son ocasionadas por el arranque de cargas grandes.
 - “Swell”. Es el aumento en el valor efectivo del voltaje de alimentación con duración de medio ciclo a unos 600 ciclos (de 8.333 ms a 10 s).

Cabe mencionar que estos parámetros pueden ser monitoreados mediante un software.

6.3.- Seccionadores de distribución.

Un seccionador es un dispositivo electromecánico que se encarga de conectar o desconectar circuitos de energía con valores de 1 kV o mayores.

Los seccionadores deben cumplir las siguientes funciones:



- Interrumpir o cortar de forma eficiente la tensión en la zona de trabajo.
- Debe disponer de un sistema de bloqueo, esto para evitar la conexión indeseable de los seccionadores por error.
- Debe existir una coordinación entre los interruptores y el sistema de bloqueo que evite la apertura con carga.
- Tener la tensión nominal suficiente para la instalación a la que sirven. Su tensión nominal es proporcional a la distancia entre sus contactos cuando están abiertos, lo que garantiza que no puedan aparecer arcos eléctricos.

Los seccionadores pueden clasificarse de acuerdo a su modo de operación, estas clasificaciones se describen a continuación:

- Seccionador de operación sin carga. Este seccionador se utiliza para dar mantenimiento a una parte del circuito específico donde se encuentra la falla, es decir aísla la parte dañada, posibilitando su reparación. Éste seccionador tiene poca capacidad de interrupción de corriente. Su operación debe realizarse sin ningún flujo de corriente en el circuito. Este es un elemento de seguridad que consta usualmente de un contacto de ruptura y que puede ser bloqueado en su posición abierta.
- Seccionador de operación con carga. Este tipo de seccionadores bajo carga tienen elementos que pueden controlar el arco eléctrico a través de

cámaras de extinción de arco. Los seccionadores de maniobras deben poseer una construcción robusta, con tecnología de aislamiento en aceite ó SF₆ para la cámara de interrupción del arco; son fácil de maniobrar, son de accionamiento tripolar bajo carga y se operan manualmente mediante una palanca removible individual para cada seccionador.

Los seccionadores también se pueden clasificar de acuerdo al lugar donde serán instalados:

- Seccionador tipo sumergible. Es un seccionador de operación manual de apertura y cierre con carga, se usa para seccionar circuitos, derivaciones o transferencias de carga en media tensión, instalándose en pozos de visita, en sistemas de distribución subterránea en donde el riesgo de inundación es alto.



Seccionador tipo sumergible.

- Seccionador tipo pedestal. Seccionador tipo pedestal de operación manual de corriente continua y de apertura y cierre con carga, se usa para seccionar circuitos, derivaciones o transferencias de carga en media tensión, instalándose a nivel del piso, en sistemas de distribución subterráneas.



Seccionador tipo pedestal

Al igual que los transformadores, los dispositivos electromecánicos, se encuentran sumergidos en un medio aislante ya sea en aceite biodegradable o en gas SF₆ (Hexafluoruro de Azufre).

El hexafluoruro de Azufre es un gas químicamente estable e inerte, su peso específico es 6.14 g/l, alcanza unas tres veces la rigidez dieléctrica del aire a la misma presión. A temperaturas de 2000 grados Kelvin conserva todavía alta conductividad térmica, que ayuda a enfriar el plasma creado por el arco eléctrico y al pasar por cero la onda de corriente, facilita la extinción del arco. Físicamente el gas tiene características electronegativas, o sea la propiedad de capturar electrones libres transformando los átomos en iones negativos, lo cual provoca en el gas las altas características de ruptura del arco eléctrico y por lo tanto gran



velocidad de recuperación dieléctrica entre los contactos, después de la extinción del arco.

Es un gas causante de efecto invernadero, pero debido a su gran densidad no asciende a las capas altas de la atmósfera, y gracias a esto, su escasa presencia en la atmósfera, su contribución al calentamiento global es mínima.

La interrupción del arco eléctrico nunca se realiza en el medio aislante, se realiza en todo momento en vacío dentro de las cámaras de interrupción. El diseño utilizado en las cámaras de vacío permite realizar la interrupción del arco en una separación de contactos inferior a 10 mm.

El realizar la interrupción del arco eléctrico en las cámaras de vacío aumenta la seguridad y confiabilidad en la operación del seccionador y así mismo evitar que el medio aislante que se utiliza en el seccionador sufra algún deterioro por la interrupción del arco eléctrico y así manteniéndose las propiedades del mismo.

Los seccionadores trifásicos que se van a instalar en la nueva red eléctrica de Ciudad Universitaria, van a tener las siguientes características:

- **Operación.**
Seccionador tipo pedestal de frente muerto, de uno o dos frentes, con un máximo de cuatro vías.
- **Protección electrónica.**
La protección del tipo electrónico en las vías de derivación a la carga y al anillo debe ser por medios electrónicos con valores ajustables en los niveles de disparo y velocidad.

- **Equipo de comunicación y control.**

El seccionador debe estar preparado para una futura instalación de operadores de motor para su automatización y la instalación de una unidad terminal remota (UTR) con un dispositivo de comunicación, de tal manera que el seccionador pueda contar en un futuro con un equipo completo de seccionamiento y protección telecontrolados.

- **Medio aislante.**

El medio aislante será gas SF₆. Habrá que contar con un medio para verificar la presión del gas con el interruptor energizado.

- **Medio de extinción de corriente de carga.**

El medio de extinción del arco eléctrico debe ser en vacío.

- **Medio de extinción de arcos de corriente de cortocircuito.**

Vacío.



Seccionador trifásico de tres vías con aislamiento en aceite mineral.



6.4.- Relevadores y fusible de acometida.

Uno de los fenómenos más comunes que se presentan durante las anomalías en un sistema eléctrico de potencia y en especial en los cortocircuitos, es el aumento de la corriente por sobre los valores normales de operación. Este aumento se utiliza para discriminar la ocurrencia de fallas, ya sea como protección principal o de respaldo, este tipo de relevador es conocido como de sobrecorriente, el cual es utilizado en la red de Ciudad Universitaria.

El funcionamiento de estos relevadores de sobrecorriente depende de dos variables básicas:

- El nivel de corriente mínima de operación (o corriente de Pickup), que es aquel valor que produce el cambio de estado del relé.
- La característica de tiempo de operación, es decir la forma en que el relé responde en cuanto al tiempo.

De acuerdo a la característica de tiempo de operación, los relevadores pueden clasificarse en general, como se muestra a continuación:

- ✓ Instantáneos.
- ✓ Retardados.
 - Tiempo definido.
 - Tiempo inverso.
 - Inverso.
 - Muy inverso.
 - Extremadamente inverso.

Existe un dispositivo llamado “Tap” en los relevadores de sobrecorriente que permite seleccionar la corriente de operación del relé dentro de un rango de tomas o derivaciones dispuestas para este efecto. Normalmente este valor de tap se

designa en Amperes y representa el valor de corriente que haría operar al relé en un tiempo indeterminado (muy largo).

Otra característica de un relé de sobrecorriente es el dial, que permite variar el tiempo de operación, por lo que con esta característica se pueden variar las curvas de tiempo de operación del relé.

Los relevadores utilizados en la red eléctrica subterránea de Ciudad Universitaria en 23 kV son MICOM P141 y SEL-751A y el fusible de la acometida es el K200.

Fusible.- Un fusible es un dispositivo de protección contras sobrecorriente, con un elemento metálico fundente para abrir un circuito que es directamente calentado por el paso de una sobrecorriente a través del mismo.

✓ *Simbología utilizada para fusibles*



Relevador MICOM-P141.- Este relevador, cuando se energiza, opera para indicar o aislar las condiciones anormales de operación. Los relevadores se fabrican en cualquiera de los siguientes tipos básicos: electromecánicos, estáticos y microprocesados. El MICOM-P141 es microprocesado.



Relevador MICOM-P141

Relevador SEL-751A.- El relevador SEL-751A proporciona una protección completa de alimentador con elementos de sobrecorriente, sobrevoltaje, bajo voltaje y frecuencia. Este relevador se integra con rapidez en comunicaciones seriales o Ethernet. Una característica importante de este relevador es la detección de arco voltaico, de esta manera se reduce el riesgo a fallas de este tipo. Por lo tanto, el relé SEL-751A además de que ofrece protección contra sobrecorrientes también ofrece de manera opcional la detección de arcos voltaicos.

El relé SEL-751A incluye tres salidas digitales y dos entradas digitales, además cuenta con tres ranuras para tarjeta Select opcionales de entrada/salida.



Relevador SEL-751A



Protecciones del anillo K.

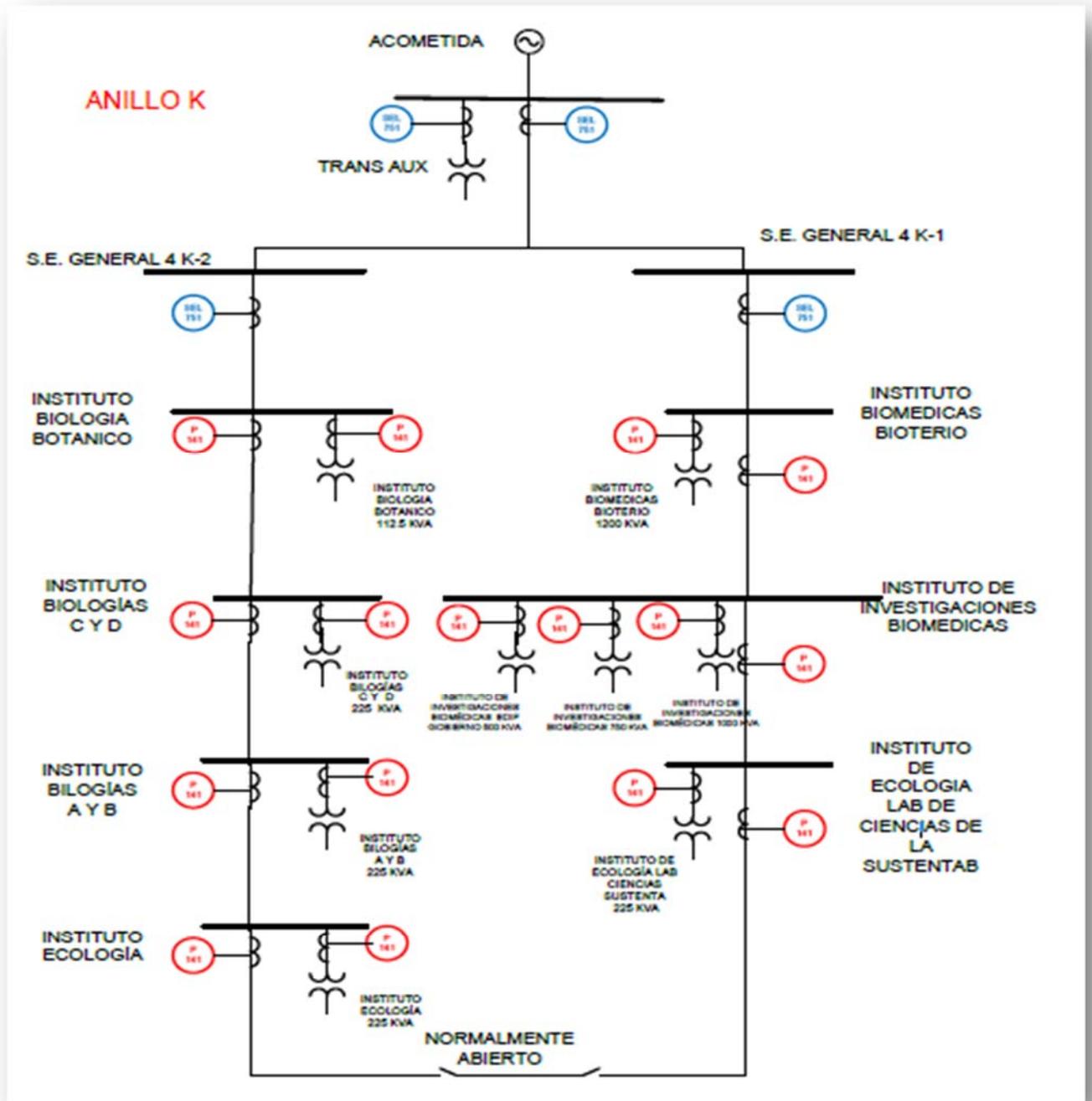
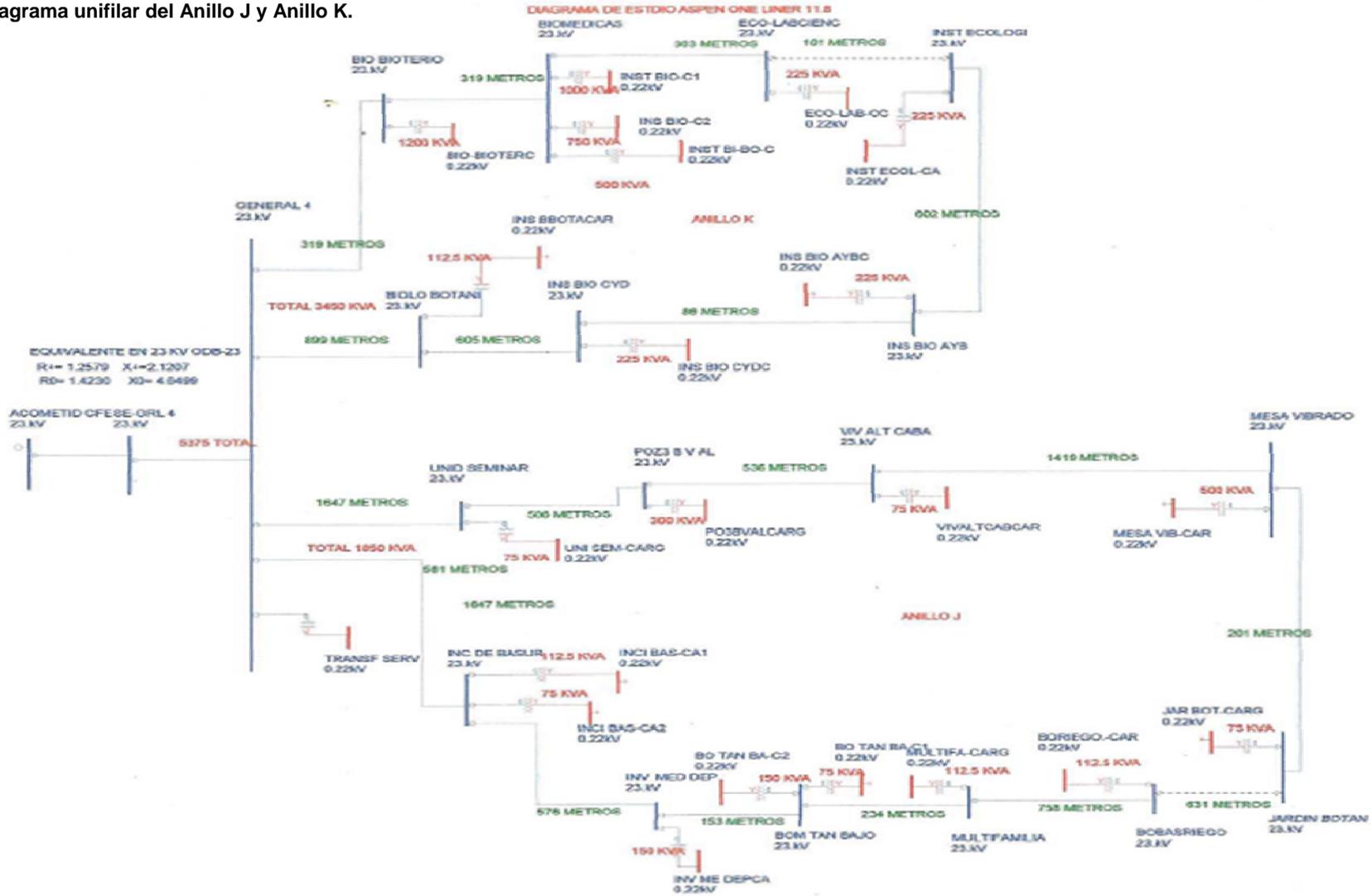




Diagrama unifilar del Anillo J y Anillo K.





CAPITULO 7. CÁLCULOS

7.1.- Coordinación de protecciones.

El cálculo de la coordinación de protecciones es importante para poder establecer los tiempos de disparo de los relevadores para proteger de forma eficaz a los transformadores de potencia.

- Comenzaremos el cálculo de coordinación de protecciones con el relevador de sobrecorriente que protege al transformador del Instituto Biomédicas Bioterio, calculando en primer lugar la corriente nominal del transformador de 1200 kVA.

$$I = \frac{kVA}{(\sqrt{3})(kV)}$$

$$I_p = \frac{1200}{(\sqrt{3})(23)} = 30.12[A]$$

Esta corriente es la que circula por el primario del transformador, para obtener la corriente que circula por el secundario del transformador se divide la corriente del primario entre la relación de transformación (RT) del mismo, la cual es: $RT=100/5=20$.

$$I_s = \frac{30.12}{20} = 1.506[A]$$

Esta es la corriente que circula por el secundario del transformador.

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

$$I_s = 2.25[A]$$

Que es la corriente del secundario de TAP.



Después procedemos a la selección del tipo de curva.

Para poder proteger adecuadamente al transformador es necesario recurrir a la curva de daño del transformador y a la de corriente de Inrush, de esto se desprende que la curva adecuada es la Extremadamente Inversa (curva IEC-EI) ya que si se escogiera la curva normalmente inversa se estaría trabajando en lado de tiempo definido y al elegir la extremadamente inversa se trabaja de lado de la pendiente de la curva tiempo-corriente y para distintas fallas se obtienen diferentes tiempos de coordinación y esto es lo adecuado.

De esta manera se debe seleccionar el dial o palanca para que el relé proteja al transformador pero que no se dispare con la corriente de Inrush del transformador. Por lo tanto el dial seleccionado fue de 0.21.

Ahora se calcula el arranque del transformador de neutro, si se considera un 30% del desbalance del ajuste de fase es decir:

$$I = (0.3)(2.25) = 0.67[A]$$

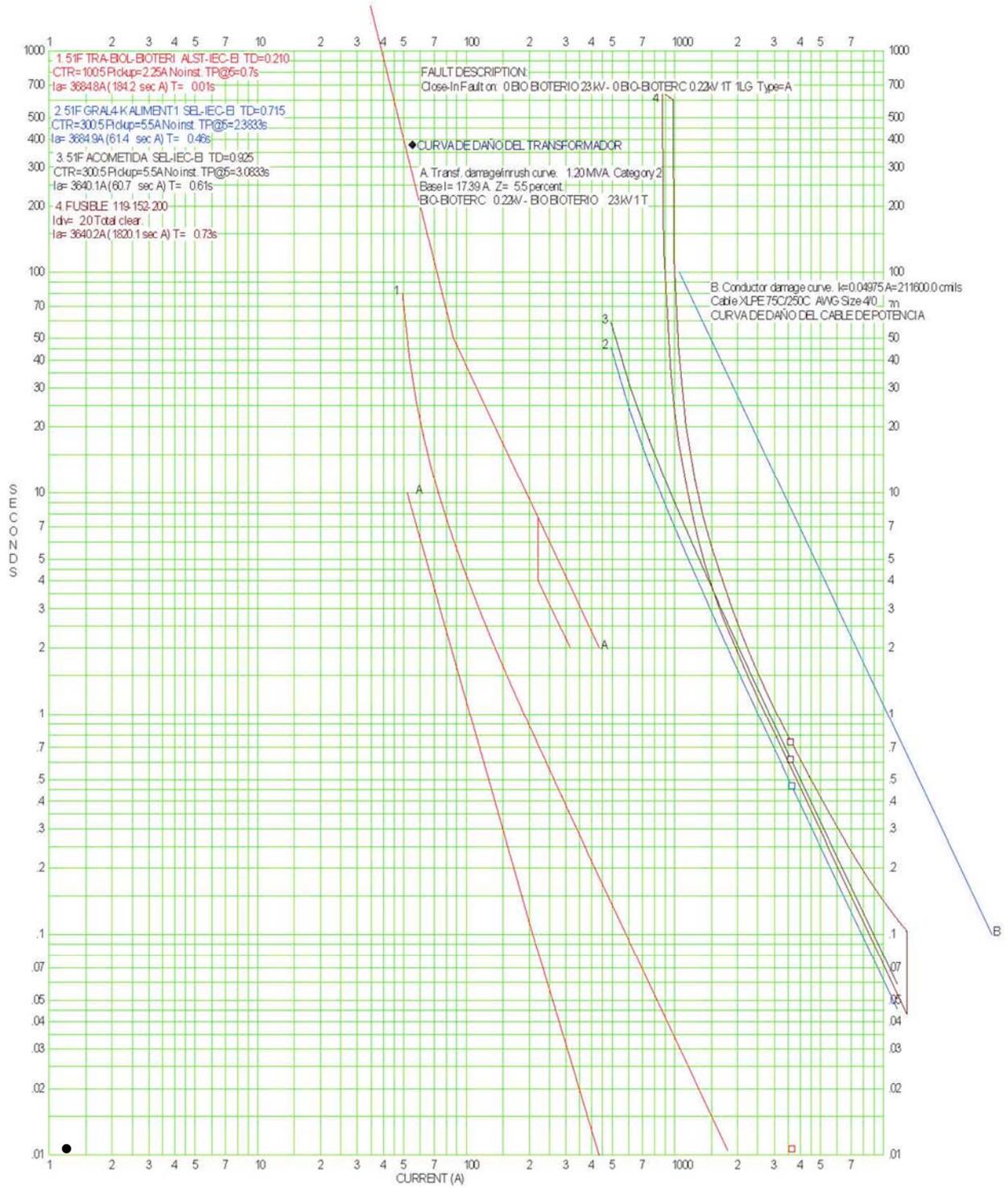
En este caso la curva seleccionada es de igual manera extremadamente inversa, sin embargo el ajuste mínimo es de 0.4 [A] en el secundario pero la corriente de Inrush queda por arriba de este valor y puede disparar el transformador, por lo que se procede a subir el TAP y finalmente queda en un valor de 1.5.

Acudiendo a las curvas de daño del transformador y de la corriente de Inrush, el dial es de 0.4.

Es importante señalar que el relevador de neutro únicamente opera en fallas de fase a tierra del lado de alta 23kV, ya que para fallas trifásicas no hay secuencia cero y para la falla monofásica en baja tensión no hay aportación por la conexión delta estrella del transformador.



Gráfica del transformador del Instituto de Bioterio (1200kVA).





- De la misma forma calcularemos el relevador que protege al transformador del Instituto Biomédicas 1, calcularemos la corriente nominal del transformador de 1000kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{1000}{(\sqrt{3})(23)} = 25.10[A]$$

$$I_s = \frac{25.10}{20} = 1.25[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

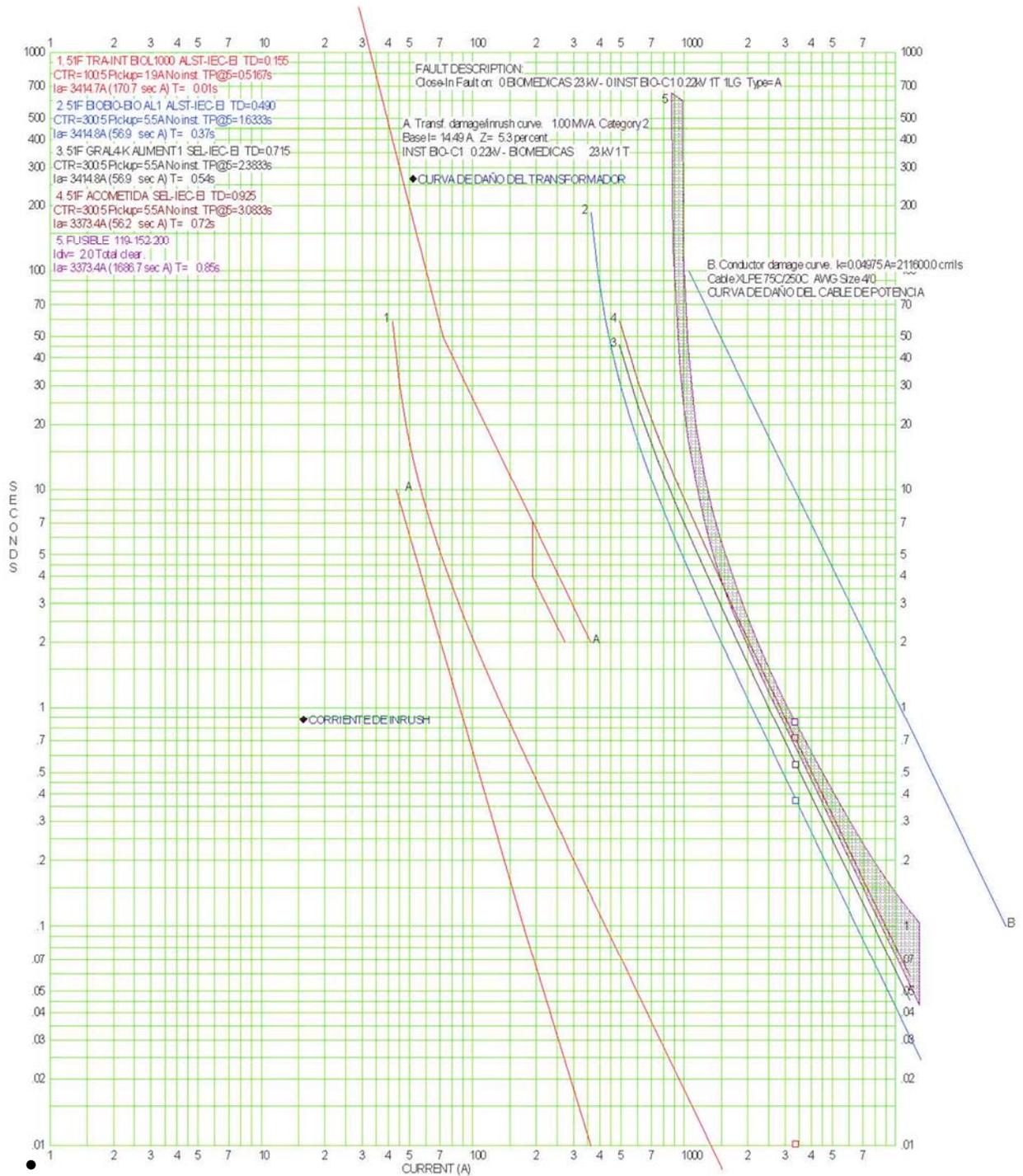
$$I = 1.9[A], \text{ corriente secundaria de TAP.}$$

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es el 0.155.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3 * 1.9 = 0.67[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundario pero con este valor la corriente de inrush queda por arriba y puede disparar el transformador, por lo que se procede a subir el TAP y queda en un valor de 1.2. Verificando las curvas de inrush y de daño del transformador el dial selección es de 0.4.



Gráfica del transformador del Instituto de Biomédicas I (1000kVA).





- Para seleccionar el arranque del relevador de sobrecorriente de fase que protege al transformador del Instituto de Biomédicas 2, se calcula la corriente nominal del transformador de 750 kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{750}{(\sqrt{3})(23)} = 18.82[A]$$

$$I_s = \frac{18.82}{20} = 0.941[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene: $I = 1.4[A]$, corriente secundaria de TAP.

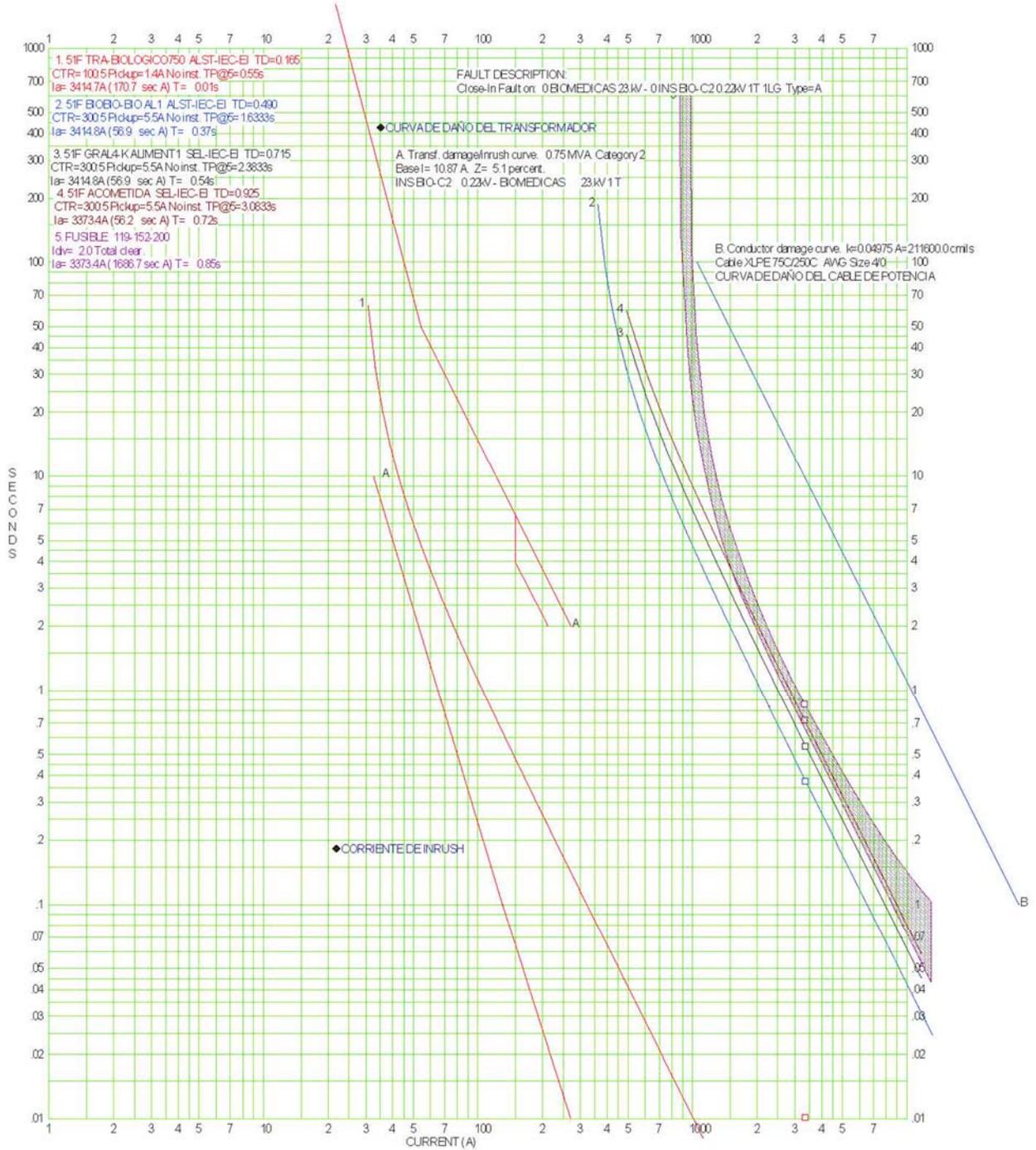
Por las mismas razones dadas en el primer punto, se escoge la curva extremadamente inversa y al recurrir a las curvas de daño del transformador y la corriente de inrush del transformador se selecciona un dial de 0.165.

Para calcular el arranque del transformador de neutro, y considerando un 30% del desbalance del ajuste de fase, se tiene: $I = 0.3 * 1.4 = 0.42[A]$, así la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 [A] secundarios, pero con este valor la corriente de inrush queda por arriba y puede disparar el transformador, y se procede a subir el TAP y queda en un valor de 1.0.

Al verificar las curvas de daño del transformador y de corriente de inrush del mismo, se observa que el dial es de 0.315.



Gráfica del transformador del Instituto de Biomédicas 2 (750kVA).





- De la misma forma calcularemos el relevador que protege al transformador del Instituto Biomédicas Edificio de Gobierno, calcularemos la corriente nominal del transformador de 500kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{500}{(\sqrt{3})(23)} = 12.55[A]$$

$$I_s = \frac{25.10}{20} = 0.6275[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

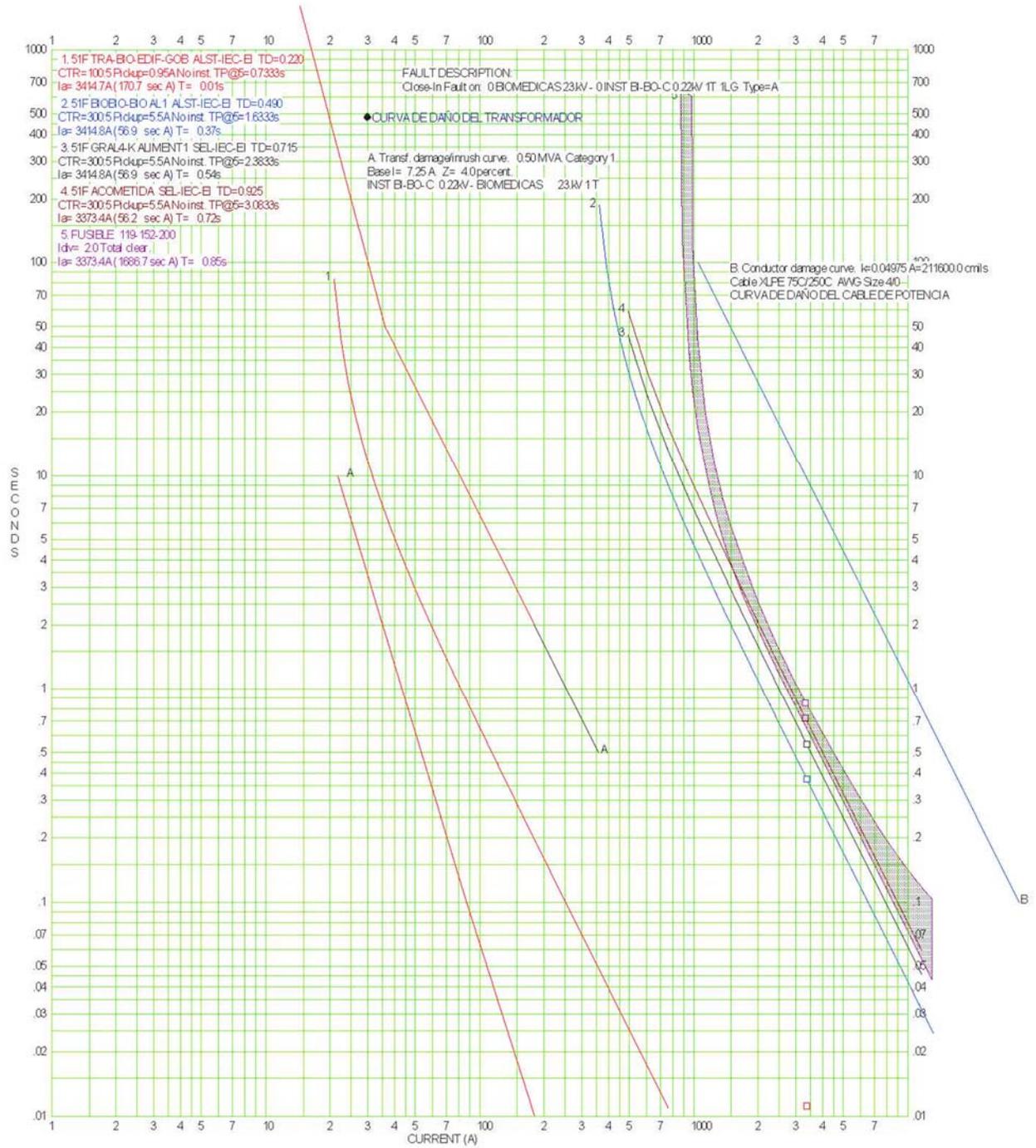
$$I = 0.941[A], \text{ corriente secundaria de TAP.}$$

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es el 0.22.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3 * 0.941 = 0.282[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundario pero con este valor la corriente de inrush queda por arriba y puede disparar el transformador, por lo que se procede a subir el TAP y queda en un valor de 0.7. Verificando las curvas de inrush y de daño del transformador el dial selección es de 0.30.



Gráfica del transformador del Instituto de Biomédicas, Edificio de Gobierno (500kVA).





- De la misma forma calcularemos el relevador que protege al transformador del Instituto de Ecología y Lab. De Ciencias de la Sustentabilidad, calcularemos la corriente nominal del transformador de 225kVA, con una $R_T=100/5=20$.

$$I_p = \frac{225}{(\sqrt{3})(23)} = 5.648[A]$$

$$I_s = \frac{5.648}{20} = 0.282[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

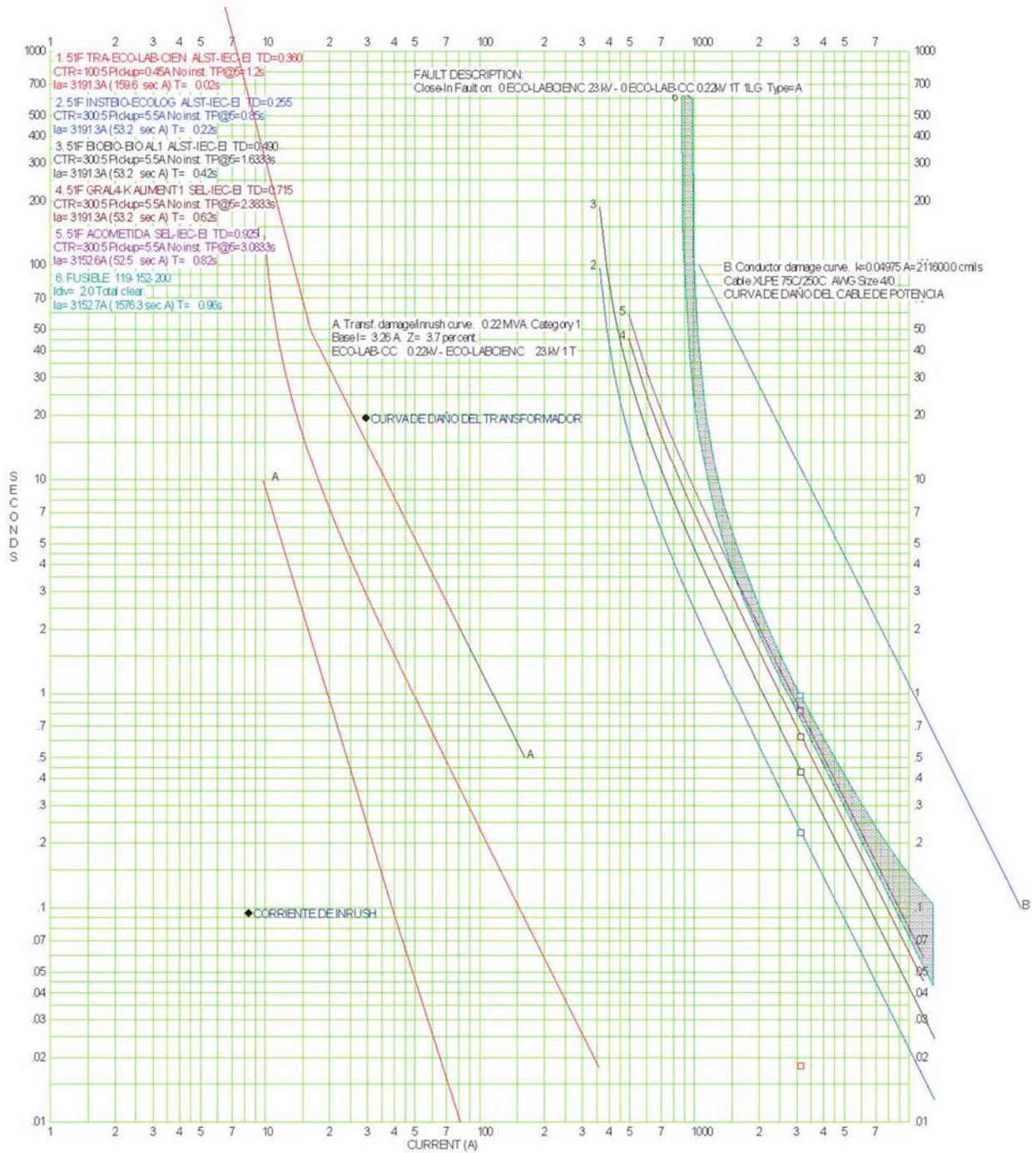
$$I = 0.423[A], \text{ corriente secundaria de TAP. Ajuste } I=0.45 [A]$$

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es el 0.36.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3*0.45 = 0.135[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundario, por lo que el valor del dial es de 0.2.



Gráfica del transformador del Instituto de Ecología y Lab. De Ciencias de la Sustentabilidad (225kVA).





- Para calcular el relevador que protege al transformador del Instituto de Biología Botánico, calcularemos la corriente nominal del transformador de 112.5kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{112.5}{(\sqrt{3})(23)} = 2.824[A]$$

$$I_s = \frac{2.824}{20} = 0.141[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

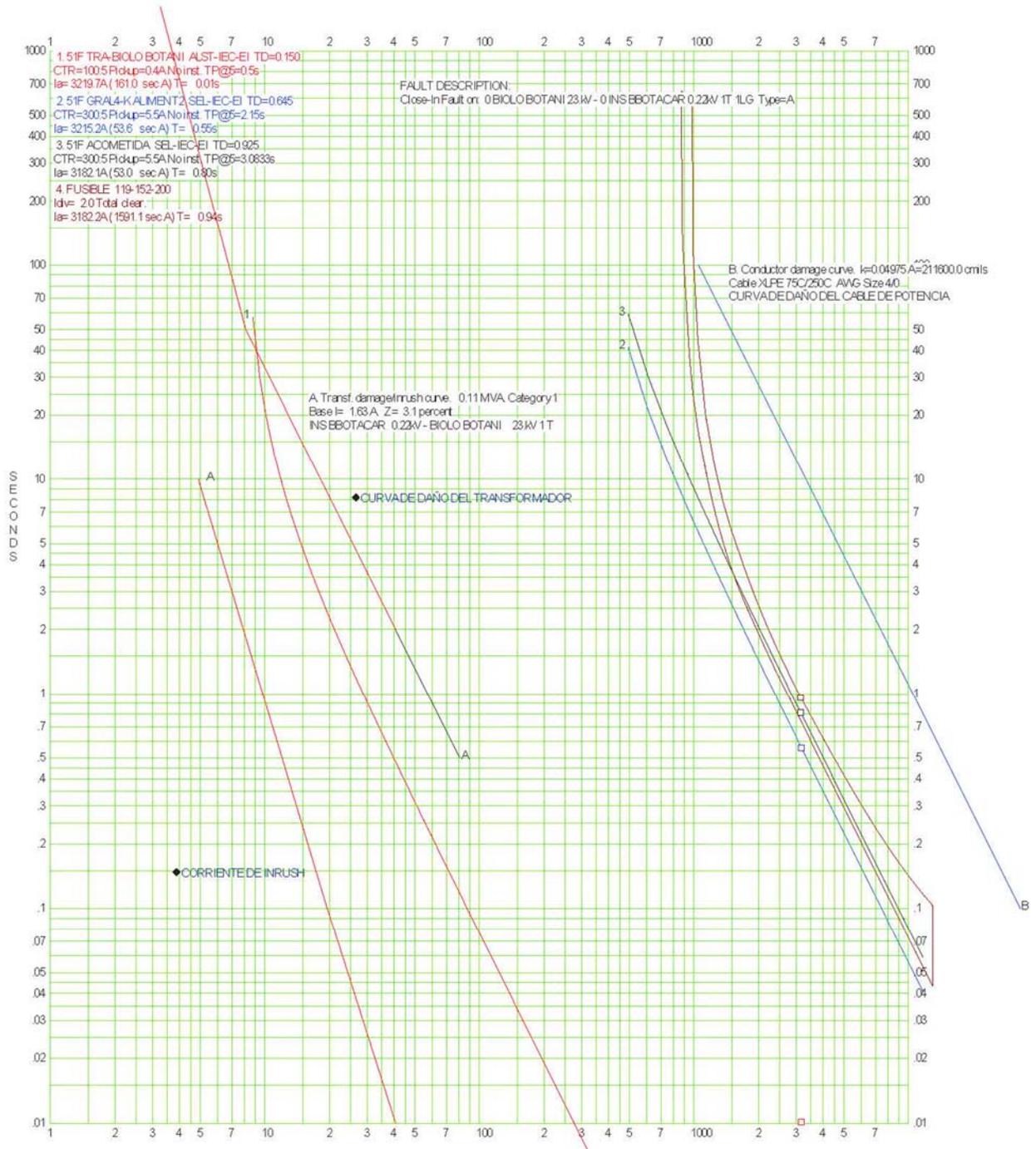
$I = 0.211[A]$, corriente secundaria de TAP. Sin embargo el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes secundarios.

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es el 0.15.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3 * 0.211 = 0.0633[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundarios, al verificar las curvas de daño del transformador y de la corriente de inrush se tiene que el dial para este caso es de 0.1.



Gráfica del transformador del Instituto de Biología Botánico (112.5kVA).





- Para seleccionar el TAP del relevador de sobrecorriente de fase que protege al transformador del Instituto de Biología C y D, calcularemos la corriente nominal del transformador de 225kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{225}{(\sqrt{3})(23)} = 5.648[A]$$

$$I_s = \frac{5.648}{20} = 0.282[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

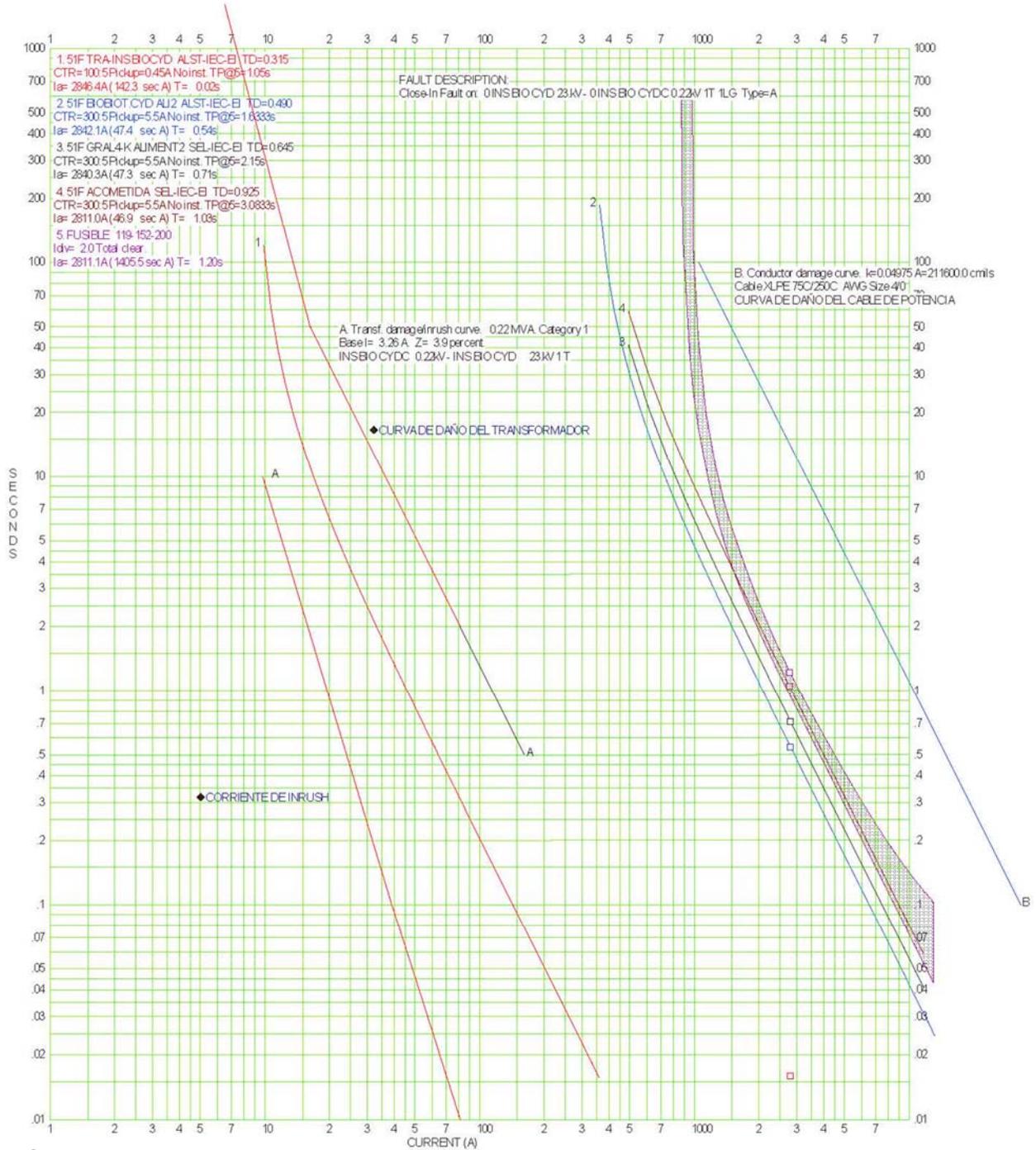
$I = 0.423[A]$, corriente secundaria de TAP. Ajuste de 0.45 [A].

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es de 0.315.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3*0.45 = 0.135[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundario verificando las curvas de daño del transformador y de corriente de inrush el dial queda en un valor de 0.2.



Gráfica del transformador del Instituto de Biología C y D (225kVA).





- Para seleccionar el TAP del relevador de sobrecorriente de fase que protege al transformador del Instituto de Biología A y B, calcularemos la corriente nominal del transformador de 225kVA, con una $RT=100/5=20$.

$$I_p = \frac{225}{(\sqrt{3})(23)} = 5.648[A]$$

$$I_s = \frac{5.648}{20} = 0.282[A]$$

Al aplicar un 50% de sobrecarga se obtiene:

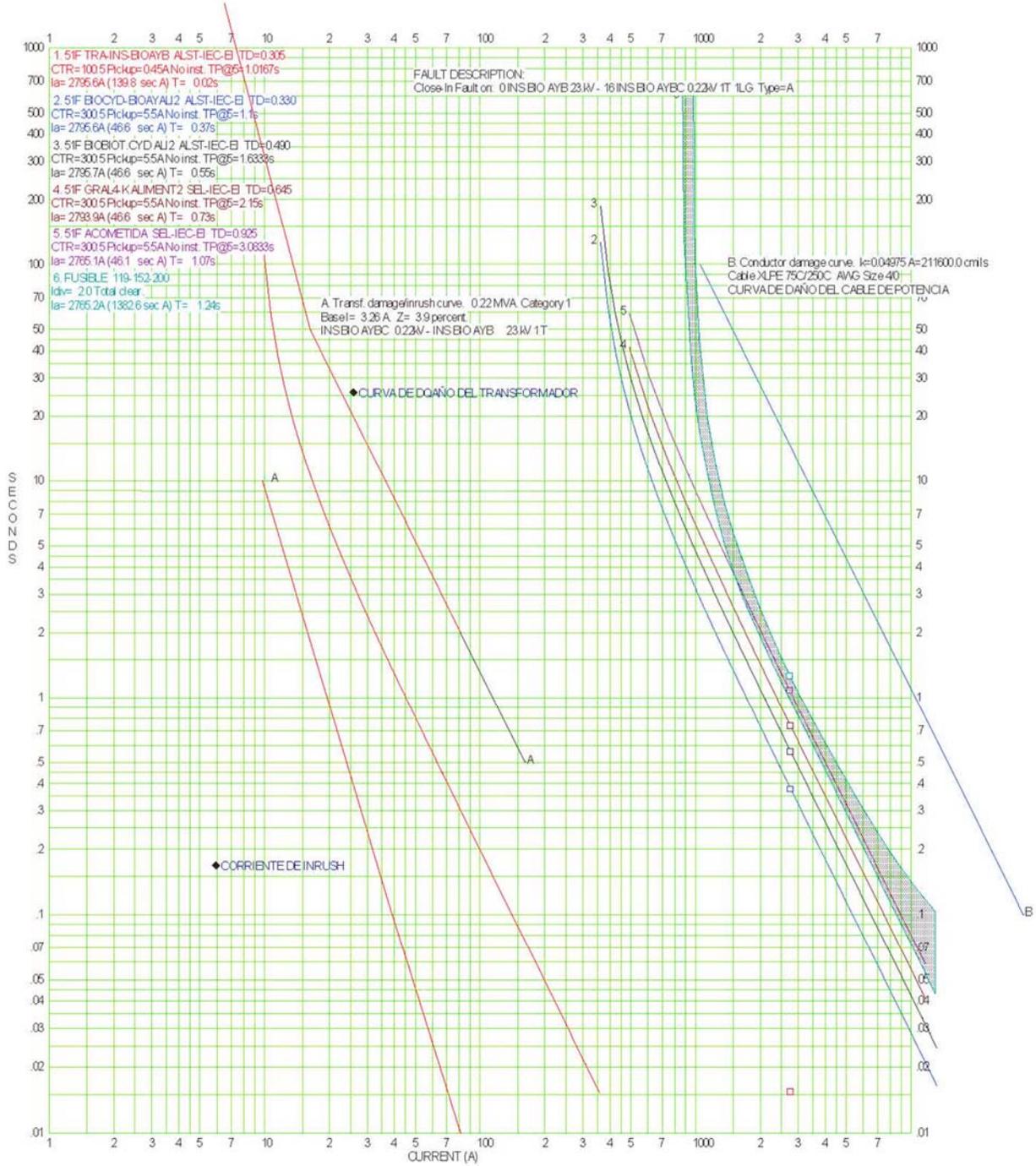
$$I = 0.423[A], \text{ corriente secundaria de TAP. Ajuste de } 0.45 [A].$$

Al consultar las curvas de daño del transformador y la de Inrush se escoge la curva extremadamente inversa, el dial seleccionado es de 0.305.

Al calcular el arranque del transformador al neutro, se considera de igual forma un 30% del desbalance del ajuste es decir: $I = 0.3 * 0.45 = 0.135[A]$ y la curva seleccionada es extremadamente inversa y el ajuste mínimo es de 0.4 Amperes en secundario verificando las curvas de daño del transformador y de corriente de inrush el dial queda en un valor de 0.2.



Gráfica del transformador del Instituto de Biología A y B (225kVA).





Para el cálculo de pick-up y dial de los alimentadores es necesario coordinarlo con el fusible tipo K200 del suministro de CFE, y para esto se requieren curvas extremadamente inversas. Para poder coordinar con el fusible será necesario establecer un pick-up para los relevadores de fase y tierra y posteriormente coordinar con los valores de dial, es decir una coordinación en tiempo.

Al verificar la curva del fusible y la curva de daño del cable de potencia, se determinó el pick-up de fase en 7 Amperes secundarios y 6.5 amperes para el pick-up de tierra para los relevadores, con estos valores se observa que se coordina con la curva del fusible, se debe habilitar el ajuste de sobrecarga de los relevadores que protegen los alimentadores, ya que los valores de pick-up quedan con valor alto y protegen solo para fallas en el cable.

7.1.- Sistemas de puesta a tierra.

Es muy importante disponer de una red de tierra adecuada para la protección contra sobretensiones en las subestaciones eléctricas, a la cual se conectan todos los neutros de los aparatos, cables de guarda, estructuras metálicas, tanques de los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deben de estar a potencial de tierra.

Una red de tierra debe cumplir con las siguientes funciones:

- Limitar las sobretensiones por descargas atmosféricas o por operación de interruptores.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea debido a fallas de corto circuito o a la operación de un pararrayo, sin exceder los límites de operación de los equipos.



- Evitar que mientras la circulación de corrientes de tierra en condiciones de cortocircuito se generen diferencias de potencial altos en distintos puntos de la subestación, generando un alto peligro para el personal.
- Facilitar mediante sistemas de relevadores o microcomputadoras la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

Existen tres disposiciones básicas de las redes de tierra:

- Radial.
- Anillo.
- Malla.

El sistema radial es el más económico, pero es el más inseguro. Ya que al producirse una falla en cualquier parte de la subestación se obtienen altos gradientes de potencial. Por lo regular se utiliza para corrientes de tierra bajas.

El sistema de anillo consiste en instalar un cable de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la subestación, conectando derivaciones a cada aparato mediante un cable más delgado, en caso de que el anillo sea cuadrado conviene colocar electrodos en sus vértices. Es un sistema menos económico que el anterior. Los potenciales peligrosos disminuyen ya que las corrientes de falla se disipan por varios caminos, lo que origina gradientes de potencial menores. Por lo regular se utiliza para corrientes de corto circuito intermedias.

El sistema de malla es el más utilizado en los sistemas eléctricos y consiste, como su nombre lo indica, en una retícula formada por cable de cobre, conectada a través de electrodos de varillas copperweld a partes más profundas para buscar



zonas de menor resistividad. Este sistema aunque es más caro que los anteriores, es además el más eficiente.

Las redes de tierra contienen diversos elementos que conforman a la misma, como son: conductores, electrodos, conectores y accesorios. Por lo regular los conductores que se utilizan en una red de tierras son de cable de cobre de calibre arriba de 4/0 AWG dependiendo del sistema que se utilice. El calibre del cable 4/0 AWG se escoge por razones mecánicas, ya que eléctricamente pueden usarse cables de cobre hasta el número 2 AWG. Para un sistema de malla frecuentemente se utiliza el cable de 4/0 AWG. El cobre se utiliza por su mejor conductividad eléctrica y térmica, pero sobre todo por su resistencia a la corrosión.

Los electrodos son varillas que se clavan en terrenos más o menos blandos y que sirven para aumentar la longitud del conductor de la red de tierra en terrenos pequeños o en terrenos secos para encontrar zonas más húmedas y, por tanto, con menor resistividad eléctrica. Los electrodos pueden fabricarse con tubos o varillas de hierro galvanizado o bien con varillas de copperweld. El hierro galvanizado es más económico y es utilizado en terrenos cuya constitución química no agrede a dicho material.

El copperweld se utiliza en terrenos cuyos constituyentes son más corrosivos y consiste en una varilla de hierro enfundada en una lámina de cobre. Este material combina las ventajas de la alta conductividad del cobre con la alta resistencia mecánica del hierro. Por lo tanto tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión, y buena resistencia mecánica para ser clavado en el terreno.

Se acostumbra a instalar los electrodos en las esquinas de la red, en cada tercera conexión sobre el perímetro de la malla y en especial en la zona próxima que rodea la instalación del equipo principal (transformadores, interruptores y pararrayos de estación), en donde conviene aumentar el número de electrodos.



Es muy usual que para disminuir la resistencia de un terreno se haga uso de tratamientos químicos, mediante cualquiera de las siguientes sustancias:

- ✓ Cloruro de Sodio.
- ✓ Sulfato de Cobre.
- ✓ Carbón o grafito en polvo.
- ✓ Bentonita.

El más utilizado es el sulfato de cobre, sin embargo también se hace uso de bentonita, que es barro formado por materiales volcánicos. No es corrosivo y tiene una resistividad de 2.5 ohms-metro. Para meter la bentonita se acostumbra perforar un hoyo entre 15 y 25 cm de diámetro en donde se mete el electrodo y se rellena con la bentonita.

Con los conectores y accesorios nos referimos a los elementos que sirven para unir a la red de tierra, los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los bancos de transformadores, etc. Existen tres tipos de conectores como son:

- ✓ Atornillados.
- ✓ A presión.
- ✓ Soldados.

Y cada uno de estos tipos de conectores debe soportar la corriente de la red de tierra en forma continua.

Como ya se ha mencionado un sistema de tierra debe proteger al personal que interactúa con los equipos que contiene un sistema eléctrico.

Sin embargo las personas asumen que cualquier objeto aterrizado puede ser tocado con seguridad cuando la resistencia a tierra del sistema es baja, es probable que esta creencia haya ocasionado accidentes. Incluso una subestación



con una resistencia a tierra muy baja puede ser peligrosa bajo ciertas circunstancias.

Cuando ocurre una falla a tierra se pueden presentar potenciales peligrosos que pueden dañar a las personas o a los equipos cercanos a la falla. Estos potenciales son:

- ✚ Potencial de toque o contacto.
- ✚ Potencial de paso.
- ✚ Potencial transferido.

Un aspecto importante dentro de los potenciales peligrosos para el ser humano es la corriente de fibrilación, que es aquella que se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El potencial tolerable del cuerpo humano está en función de esta corriente, que al circular por el corazón, primeramente le produce una arritmia cardiaca, procediendo a detenerlo por completo causándole la muerte.

La siguiente ecuación que fue resultado de experimentos con animales, se tiene:

Para personas con una masa de 50 kg:

$$I = 0.116 / \sqrt{t}$$

Y para personas con una masa de 70 kg:

$$I = 0.157 / \sqrt{t}$$

Donde:

I= Corriente de Fibrilación.



t= Tiempo que circula la corriente.

Cabe mencionar que esta ecuación no es funcional para tiempos prolongados o muy breves.

El potencial de toque o contacto se presenta cuando se toca una estructura por donde circula una corriente de falla. El potencial que podemos soportar esta dado por las siguientes ecuaciones:

Para 50 kg.

$$I = \frac{116 + 0.17\rho s}{\sqrt{t}}$$

Para 70 kg.

$$I = \frac{157 + 0.24\rho s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

ρs =Resistividad de la superficie del suelo en Ω -m (por regla general es grava, tezontle o una tarima).

I= Corriente de fibrilación en Amperes.

t=Duración de la falla en segundos.

El potencial de paso es aquel potencial que puede soportar un individuo que se encuentra parado o caminando cerca del lugar de la falla, si se rebasa este potencial, se produce una contracción muscular en las piernas, es decir, no responden a los impulsos del cerebro y el individuo cae al piso, donde queda



expuesto a las corrientes que circulan por el corazón. Este potencial se calcula de la siguiente forma:

Para 50 kg:

$$I = \frac{116 + 0.7\rho s}{\sqrt{t}}$$

Para 70 kg:

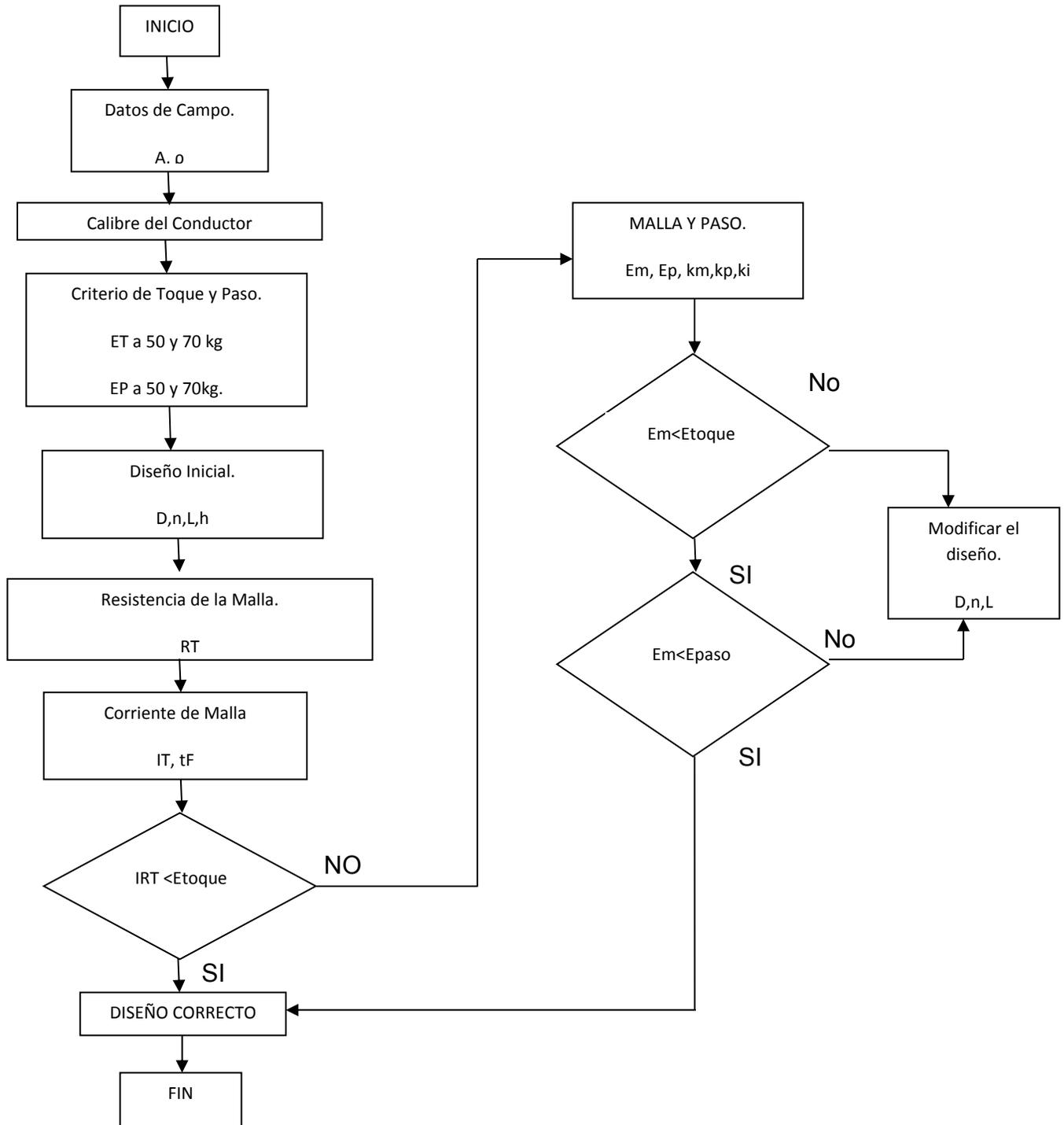
$$I = \frac{157 + \rho s}{\sqrt{t}}$$

Los potenciales transferidos se producen cuando existen elementos metálicos que salen del lugar de la falla, como son rieles, hilo de guarda, tuberías etc.

No es práctico e incluso casi imposible diseñar un sistema de tierras con base en los potenciales transferidos, es más práctico aislar las tuberías o elementos metálicos que salen de las subestaciones.

Otro aspecto importante que hay que mencionar es la duración de la falla, donde se observa claramente que es muy importante reducir el tiempo de dicha falla. Por lo general los casos de muerte por electrocución es debido a exposiciones de fallas de larga duración, el tiempo típico de apertura de interruptores es de medio segundo, sin embargo se ha demostrado que el peligro de fibrilación disminuye con tiempos de falla de un tercio de segundo. Por esto es importante coordinar adecuadamente las protecciones y así librar en el menor tiempo posible la corriente de falla.

Para realizar un correcto diseño de red de tierras es recomendable seguir el siguiente diagrama de flujo:





El sistema de puesta a tierra dentro del campus universitario no se puede diseñar en forma tradicional como en otras instalaciones ya que el terreno en su mayor parte se encuentra compuesto por roca volcánica, lo que representa dificultad para lograr los valores de resistencia a tierra requeridos por la normatividad vigente.

Se hará uso de un neutro común para el diseño de la puesta a tierra en el campus universitario, este neutro corrido hará las funciones de un electrodo horizontal.

Cabe mencionar que debido a que la resistividad del terreno del campus universitario es muy alta ($\rho=5700\Omega\cdot m$) se efectuarán electrodos profundos, los cuales son muy eficaces para obtener valores de resistividad más bajo, ya que dichos electrodos penetran a capas del terreno que contiene mayor humedad incluso a veces llegan hasta los niveles freáticos.

Como ejemplo diseñaremos la red de tierra para la Subestación General No.4, donde tenemos los siguientes datos:

$$\rho=5700 \Omega\cdot m$$

$$A= 6m \times 10m= 60m^2$$

$$h=0.5m$$

$$\rho_s=3000 \Omega\cdot m \text{ (Valor de resistividad superficial de tarimas aislantes).}$$

$$d=4/0 \text{ AWG}= 0.0134 \text{ m}$$

$$L_e=3 \text{ m}$$

$$d_e=5/8'' =0.0159 \text{ m}$$

$$t=0.5 \text{ s}$$



Donde:

ρ =Resistividad del terreno en Ω -m.

A=Área del terreno en m.

h=Profundidad de la red de tierra en m.

ρ_s =Resistividad Superficial en Ω -m.

d=Diámetro del conductor utilizado en la red de tierra en m.

Le=Longitud de cada electrodo en m.

de=Diámetro de cada electrodo en m.

t=Tiempo de duración de la falla a tierra en segundos.

Consideramos una resistividad superficial de 3000Ω -m debido a que utilizamos como capa superficial del terreno tarimas aislantes.

El valor de la corriente de corto circuito de la Subestación General No.4 dado por la Compañía Federal de Electricidad es de: $I=4108$ Amperes.

Siguiendo el diagrama de flujo para poder diseñar un correcto sistema de tierras para dicha subestación tenemos los siguientes pasos:

Establecemos los criterios de toque y paso:

$$P_{T50kg} = \frac{116 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}} \dots \dots A$$

$$P_{T70kg} = \frac{157 + 0.24\rho_s}{\sqrt{t}} \dots \dots B$$

$$P_{P50kg} = \frac{116 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}} \dots \dots C$$

$$P_{T70kg} = \frac{157 + \rho_s}{\sqrt{t}} \dots \dots D$$



Sustituyendo los valores en A, B, C y D, tenemos:

$$P_{T50kg} = \frac{116 + 0.17 \times 3000}{\sqrt{0.5}} = 885.2976[V]$$

$$P_{T70kg} = \frac{157 + 0.24 \times 3000}{\sqrt{0.5}} = 1240.2652[V]$$

$$P_{P50kg} = \frac{116 + 0.7 \times 3000}{\sqrt{0.5}} = 3133.89[V]$$

$$P_{T70kg} = \frac{157 + 3000}{\sqrt{0.5}} = 4464.6722[V]$$

De esta forma hemos obtenido los valores tolerables para el ser humano tanto para 50 y 70 kg.

Como diseño inicial, propondremos las siguientes consideraciones:

D=3m

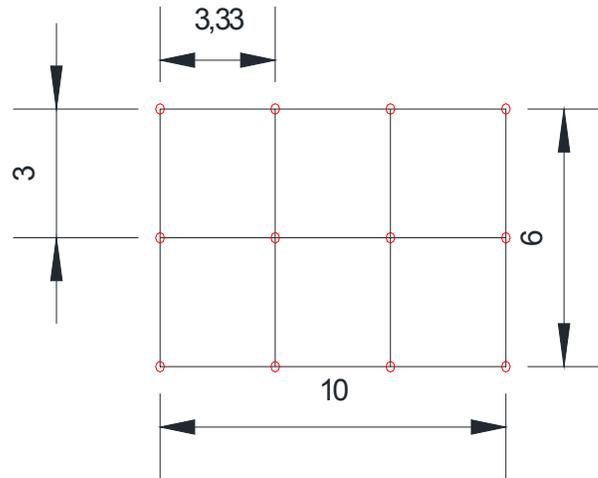
No. Electrodo= 12.

Donde:

D= Espaciamiento o distancia entre rejillas de la red.

No. Electrodo= Número total de electrodos que se utilizaran en la red de tierras.

Al considerar nuestra área del terreno y las condiciones anteriores se tiene una rejilla como la que se muestra en la siguiente figura.



Por lo tanto a partir de esta consideración procedemos a calcular la longitud total (L) del conductor que se va a utilizar en esta red.

$$L = L_{Te} + L_m \dots E$$

$$L_{Te} = (\text{No. Electrodo}) (L_e) \dots E_1$$

$$L_m = \{(\text{Ancho de la rejilla} \times A) + (\text{Largo de la rejilla} \times B)\} \dots E_2$$

Donde:

L=Longitud total de conductores empleados en la red de tierra, en metros.

L_{Te} =Longitud total de los electrodos utilizados en la red de tierra, en metros.

L_e =Longitud de cada electrodo.

L_m =Longitud total de conductores transversales y longitudinales.

A= Número de conductores transversales a la malla de tierra.

B= Número de conductores longitudinales a la malla de tierra.



Sustituyendo los valores conocidos en E, E₁ y E₂:

$$L_{Te} = (12) (3m) = 36m$$

$$L_m = \{(6m \times 4) + (10m \times 3)\} = 54m$$

$$L = 36m + 54m = 90m$$

El siguiente paso es calcular la resistencia de la red de tierras por la formula general:

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \dots \dots F$$

Sustituyendo valores:

$$R_T = \frac{5700}{2\pi(90)} \ln \frac{4(90)}{0.0134} = 102.8 \Omega$$

Ahora bien, para calcular la corriente de malla, consideraremos un factor de crecimiento del 10% para este caso.

Por lo tanto:

$$I = (4108) (1.1) = 4518 \text{ A}$$

Considerando el diagrama de flujo anterior y considerando el potencial de toque para el peor de los casos (P_{T50kg}):



$$(I)(R_T) < E_{\text{toque}}$$

$$(4518)(102.8) < 885.2976$$

$$464450.4 < 885.2976$$

Como la condición anterior no se cumple, se procede a realizar los siguientes cálculos:

Calculo del potencial de malla E_m :

$$E_m = \frac{(\rho)(km)(ki)(I)}{L} \dots \dots G$$

$$km = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{kii}{kh} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \dots \dots G_1$$

$kii = 1$; Debido a que existen electrodos en las esquinas de la red.

$$kh = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \dots \dots G_2$$

$$n = \sqrt{AxB} \dots \dots G_3$$

$$ki = 0.656 + 0.172n \dots \dots G_4$$

Donde:

A= Número de conductores transversales a la malla de tierra.

B= Número de conductores longitudinales a la malla de tierra.

$h_0 = 1\text{m}$ (Profundidad de referencia).

$E_m =$ Potencial de malla en Volts.



Sustituyendo valores en G, G₁, G₂ y G₃, se tiene:

$$n = \sqrt{4x3} = \sqrt{12} = 3.4641$$

$$kh = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}} = 1.2247$$

$$km = \frac{1}{6.2831} \left[\text{Ln} \left(\frac{3^2}{16x0.5x0.0134} + \frac{(3 + 2x0.5)^2}{8x3x0.0134} - \frac{0.5}{4x0.0134} \right) + \frac{1}{1.2247} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2x3.4641 - 1)} \right) \right]$$

$$km = \frac{1}{6.2831} \left[\text{Ln}(83.9552 + 49.7512 - 9.3283) + \frac{1}{1.2247} \text{Ln} \left(\frac{8}{18.6239} \right) \right]$$

$$km = \frac{1}{6.2831} [(4.8233) + (-0.6899)]$$

$$km = 0.6578$$

$$ki = 0.656 + (0.172x3.4641)$$

$$ki = 1.2518$$

Por lo tanto:

$$Em = \frac{0.6578x1.2518x4518x5700}{90}$$

$$Em = 235617.4162 [V]$$



Ahora continuaremos con el cálculo del potencial de paso (Ep):

$$E_p = \frac{(kp)(ki)(\rho)(I)}{L} \dots \dots H$$

$$kp = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} w \right] \dots \dots H_1$$

$$w = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{n-1} \dots \dots H_2$$

Para n mayor a 6:

$$w \cong \frac{1}{2(n-1)} + Ln(n-1) - 0.423 \dots H_3$$

Donde:

Ep= Potencial de paso en Volts.

Sustituyendo valores en H, H₁ y H₂:

Como n es menor a 6:

$$w = \frac{1}{2} + \frac{1}{3.4641 - 1} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2.4641}$$

w=0.9058



$$k_p = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{1}{3 + 0.5} + \frac{1}{3} (0.9058) \right]$$

$$K_p = 0.2377$$

$$E_p = \frac{(1.2518)(0.2377)(5700)(4518)}{90}$$

$$E_p = 85141.7753 [V]$$

Ahora comparamos los valores obtenidos con los tolerables del ser humano:

$$E_m < P_{T50kg} \dots \dots J$$

Y

$$E_p < P_{P50kg} \dots \dots K$$

Sustituyendo valores en J y K:

$$235617.4162[V] < 885.2976[V]$$

$$85141.7753 [V] < 3133.89[V]$$

Ninguna de las condiciones anteriores se cumple, por lo tanto, se procede a realizar los siguientes cálculos:

Para que el diseño de la red de tierras sea correcto se debe cumplir la siguiente condición:

Si mi Potencial de paso es: $E_p = 885.2976 [V]$

$$R_T I_{CC} < 885.2976 [V]$$



$$R_T(4518 [A]) < 885.2976 [V]$$

Despejando R_T :

$$R_T \leq \frac{885.2976 [V]}{4518 [A]}$$

$$R_T \leq 0.1959 \Omega$$

Este es el valor de la resistencia de tierra que se debe lograr para poder establecer los potenciales de paso y contacto correctos para un buen diseño de red de tierras.

Sin embargo dada las características del terreno en Ciudad Universitaria, considerando que se tiene una resistividad demasiado alta (5700 Ω -m) se vuelve muy complicado establecer una resistencia a tierra baja, como la que se necesita para nuestro diseño de la red de tierras.

Para poder establecer el valor necesario de la Resistencia a Tierra se hará uso de la instalación de electrodos profundos, los cuales estarán conectados a toda la malla de tierra.

Este tipo de electrodos son los más efectivos ya que al profundizar llegan a las capas de terrenos más húmedos y a veces hasta los niveles freáticos, estableciendo así valores de resistencia a tierra mucho más bajos que los electrodos comunes.



CAPITULO 8.

Proyecto eléctrico en Ciudad Universitaria de 23Kv.

El proyecto eléctrico con el cual se le ha suministrado energía eléctrica al campus de Ciudad Universitaria durante cincuenta años ha sido un proyecto eficaz y avanzado para aquel tiempo, y así mismo para su adecuado funcionamiento de su infraestructura.

El crecimiento que ha presentado Ciudad Universitaria a lo largo de los últimos años ha requerido de una nueva red de distribución eléctrica que sea más eficiente, más ecológica, más moderna y que presente un ahorro económico.

La Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Ingeniería realizó el levantamiento y estudio de las 124 subestaciones existentes en la infraestructura de la red eléctrica y se reunió información de la ubicación, descripción del equipo instalado, sus respectivos diagramas unifilares, levantamiento físico del local, acervo fotográfico y datos técnicos como: demanda máxima, curva de demanda, resistividad del terreno, estado del banco de ductos, trincheras, registros y charolas, riesgos mantenimiento y observaciones generales.

El cambio de la red de 6.6 kV a la de 23 kV trae consigo beneficios para la Universidad Nacional Autónoma de México, entre otros se encuentran los siguientes:

1. Una vida útil a la red de al menos 30 años.
2. Mejora de la calidad de energía eléctrica entregada a cada dependencia de la Universidad.
3. Posible automatización de la red, eficientando el uso de la misma.
4. Disminución de la tarifa del suministro de energía eléctrica.



La meta de este proyecto es ejecutar la construcción e instalación indicadas por el proyecto ejecutivo para la puesta en marcha de la nueva red de distribución de 23 kV. La cual tendrá que hacerse por una serie de pasos ordenados para el cumplimiento exitoso de dicho proyecto.

En el sistema eléctrico de Ciudad Universitaria, existen cinco subestaciones generales, las subestaciones derivadas se dividen en distintos anillos en toda Ciudad Universitaria, como son:

Anillos	A	B	C	D	E	F	G	H	
Dependencias	A1 Torre Rectoría	B1 Biblioteca Central. B2 Dirección del CCH. B3 Consejos Académicos. B4 Edio. de Prácticas. B5 Frontón Cerrado. B6 Trabajo Social.	C1 Arq. I. C2 C3 Centro C4 Alberca Olímpica. C5 Fac. de Química "C". C6 Biomédicas II. C7 Química "B". C8 Biomédicas I. C9 Vivero Bajo. C10 Torre de Ing. C11 Nave Hidráulica. C12 Posgrado de Ing. "B" y "C". C13 Inst. de Ing. C14 Posgrado de Ing. "A". C15 Auditorio Ing. Valdés Vallejo. C16 Anexo de Ing. Talleres. C17 Lab. Termofluidos. C18 Anexo Facultad de Ing. C19 Contaduría Informática. C20 Contaduría y Admon.	D1 Inst. de Ing. D2 IMAS. D3 D4 Ciencias Veterinaria I. del mar. D5 Veterinaria II. D6 Inst. Física Biotério. D7 Fisiología Celular Neuro. D8 Fisiología Celular. D9 Química "B" Inst. D10 Ciencias Nucleares. D11 Fac. de Ciencias.	D1 Inst. de Ing. D2 IMAS. D3 D4 Ciencias Veterinaria I. del mar. D5 Veterinaria II. D6 Inst. Física Biotério. D7 Fisiología Celular Neuro. D8 Fisiología Celular. D9 Química "B" Inst. D10 Ciencias Nucleares. D11 Fac. de Ciencias.	E1 Torre de Hdes y Fac. de Filosofía y Letras. E2 Biblioteca Samuel Ramos. E3 Biblioteca Antonio Caso. E4 Fac. de Derecho. E5 Fac. de Economía. E6 Anexo Fac. Derecho. E7 Torre de Hdes II. E8 Unidad de Posgrado. E9 Fac. de Ingeniería. E10 Diseño Industrial. E11 Química "A". E12 CELE. E13 Inst. de Física. E14 Fac. de Ciencias Amoxcalli. E15 Química "D" Aulas. E16 Química "D" Talleres. E17 Fac. de Ciencias Tlahuize. E18 Química	F1 Medicina "B" y "C". F2 Medicina "D". F3 Medicina Investigación F4 Int. Geofísica. F5 Inst Geología. F6 Planta Homog. F7 Inst. Geografía. F8 Unidad de Bibliotecas. F9 Geos. F10 Inst. Química "A" F11 Inst. Inv. de Materiaes II. F12 Inst. Inv. de Materiales I. F13 DGSCA. F14 CCADET. F15 Cumed	G1 Odontología Cafetería. G2 Odontología "B" y sótano. G3 Medicina "A" Autoclave. G4 Med. "A" G5 Planta Tratamiento. G6 Medicina Psiquiatría. G7 Unidad de Apoyo a Inv. G8 Odontología Posgrado. G9 Biblioteca Veterinaria. G10 Admón. Escolar. G11 Ciencias Políticas. G12 Filmoteca. G13 Planta Tratamiento. G14 Tienda. G15 Inv. Antropológicas.	H1 Psicología "A". H2 Posgrado Psicología. H3 Psicología "B" y "C". H4 Publicaciones.



Alimentación de energía eléctrica de los Institutos de la UNAM con estructura en anillo (Anillo K).

**Capítulo 8.-
PROYECTO ELÉCTRICO EN
CIUDAD UNIVERSITARIA DE 23 Kv.**



Anillos	I	J	K	Estadio Olímpico.
Dependencias	I1 Actividades Deportivas. I2 Dirección Gral. de obras y conservación. I3 Dirección Gral. de personal. I4 Talleres de conservación.	J1 Incinerador de basura. J2 Inv. y Medicina del deporte. J3 Bombas tanque bajo. J4 Multifamiliar. J5 Pumitas. J6 Bombas de riego. J7 Jardín Botánico exterior. J8 Vivero alto cabaña. J9 Vivero alto pozo. J10 Unidad de seminarios. J11 Mesa vibradora.	K1 Inst. Inv. Biomédicas Edif. A2, B1 y gobierno. K2 Inst. De Ecología. K3 Inst. De Biología A y B. K4 Inst. De Biología C y D. K5 Inst. De Biología Botánico.	EO1 Antiguo maratón. EO2 Torre 2 Palomar. EO3 Torre 3. EO4 Torre 4. EO5 Vestidores-Prensa. EO6 Torre 1-Pebetero



CAPÍTULO 9.- CONCLUSIONES.

Debido a la antigüedad de la infraestructura de la red eléctrica de Ciudad Universitaria incluyendo transformadores, seccionadores, equipos de protección, etc., es necesario dar paso al nuevo proyecto eléctrico de la misma. De esta manera se reduce en primera instancia cualquier peligro al personal técnico que le brinda mantenimiento a la red eléctrica, y en segundo lugar brindar a los usuarios de Ciudad Universitaria una mejor calidad en el suministro de energía eléctrica, evitando mayores pérdidas de energía y una mejor confiabilidad en el uso de la misma.

Así mismo un aspecto notable es la selección del equipo eléctrico de última generación que formará parte de la red eléctrica de Ciudad Universitaria, algunos ejemplos se dan a continuación:

- ✓ Se puede observar el diseño de un transformador de distribución pero con las características de un transformador tipo interior y con la facilidad de operación de un transformador tipo pedestal y que ningún fabricante ha desarrollado hasta el momento.
- ✓ En la parte de los seccionadores se cuenta con la implementación de la forma de supresión de arco eléctrico con botellas de vacío o interrupción electrónica, esto permite aislar con mayor seguridad y eficacia las corrientes de falla o de sobrecarga. Además se cuenta con el medio aislante SF₆ el cual reduce las distancias dieléctricas, teniendo como resultado un equipo más compacto.
- ✓ Por otra parte se encuentra la selección del cable de energía el cual está diseñado con la última generación debido a que está formado por secciones que impiden el paso de la humedad y al tener el 133% de nivel de aislamiento se cuenta con una protección extra para el libramiento de fallas.



Se debe notar que los transformadores pueden tener como medio aislante aceite biodegradable, lo cual es una opción amigable al medio ambiente.

Un aspecto que se debe mencionar en este capítulo ha sido la selección de la estructura de distribución de la red del campus universitario, donde se ha considerado distintos parámetros como: densidad de carga, tipos de carga, continuidad de servicio, calidad de servicio, etc. Una estructura en anillo abierto ha sido la opción más confiable para la correcta distribución de energía, donde en caso de falla en algún alimentador primario el servicio se repone de forma rápida y sencilla, permitiendo la continuidad de servicio en la red. Cabe mencionar que los riesgos de accidentes en la forma de operar de esta estructura por el personal de mantenimiento se reducen considerablemente en comparación a las demás topologías que existen para una red eléctrica de distribución.

Es necesario incluir la importancia de los relevadores dentro de la red eléctrica del campus universitario incluyendo los cálculos necesarios para coordinar los tiempos de respuesta de estos. Dentro del capítulo correspondiente a este tema cabe mencionar que se utilizaron las curvas del tipo extremadamente inverso ya que al utilizar las curvas normalmente inversas se trabaja en la parte donde la curva se hace plana y se comporta como de tiempo definido para todas las fallas y esto no es lo que se requiere, ya que para fallas más cercanas el tiempo debe de ser menor y para fallas lejanas el tiempo debe ser más largo.

Así mismo se debe tener cuidado en el diseño del sistema de puesta a tierra en las subestaciones eléctricas, ya que es importante proteger a todo el equipo utilizado en las mismas así como al personal que le brinda mantenimiento preventivo y correctivo a las subestaciones eléctricas. Estas redes de tierra como deben cumplir con las normas establecidas en la NOM-001 SEDE 2005, de esta manera podrá ser un diseño confiable para el personal.



Cabe mencionar que la red eléctrica de Ciudad Universitaria se colocará dentro de las primeras de América Latina, siendo modelo para futuras redes eléctricas. Esto se cumplirá gracias las tres etapas principales para la puesta en marcha de dicha red. La primer etapa será la operación manual, para la segunda etapa se pretende que toda la red este automatizada para lo cual los equipos ya tendrán la preparación adecuada para esta etapa y finalmente la tercer etapa se llevará acabo cuando la red eléctrica pueda ser telecontrolada, es decir, el monitoreo y operación de la red se llevará a cabo desde un cuarto de control de donde se obtendrán los parámetros del sistema eléctrico en tiempo real.

Otro tema a tratar dentro de la red eléctrica del campus universitario es la distribución en baja tensión en lo que refiera a la calidad de energía, ya que se presentara el constante crecimiento de cargas no lineales (computadoras, lámparas con balastro electrónico, etc.) lo que provoca la presencia de ciertos disturbios eléctricos como son:

- Transitorios.
- Ruido eléctrico.
- Bajas de tensión y sobretensiones de corta o larga duración.
- Armónicas.
- Variaciones de frecuencia, etc.

Cada uno de estos problemas se presentaría en los componentes de la red de la siguiente forma:

- Sobrecalentamiento de transformadores y motores.
- Corrientes excesivas en los conductores neutro que los sobrecalientan.
- Pérdidas de algunos datos debido a que el voltaje máximo es superior al nominal o debido a la diferencia de potencial entre neutro y tierra.



Se han presentado distintas medidas para mitigar los efectos que produce un mala calidad de energía, dichas medidas se mencionan a continuación:

- Dimensionamiento de conductores considerando armónicas.
- Disminución de las corrientes por el neutro mediante balance de cargas.
- Disminución de las corrientes armónicas mediante filtros y transformadores de aislamiento.
- Tableros separados para equipos sensibles.
- Selección del transformador con el factor K.

Es importante realizar estudios de calidad de la energía para identificar los distintos problemas que se puedan presentar y de esta manera tomar las medidas necesarias y así disminuir su presencia en el sistema de distribución en baja tensión del campus universitario.



BIBLIOGRAFÍA.

CAPÍTULO 1.

1. PANI, Mario et DEL MORAL, Enrique.
La construcción de la Ciudad Universitaria del Pedregal.
Universidad Nacional Autónoma de México.
Volumen XII.
México.
1979.

CAPÍTULO 2 Y CAPÍTULO 3.

2. ESPINOSA Y LARA, Roberto.
Sistemas de distribución.
Ed. Limusa
México
1990.
3. RAÚL MARTÍN, José.
Diseño de Subestaciones Eléctricas.
Facultad de Ingeniería, UNAM.
2000.
4. CONDUMEX.
Manual Técnico de Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión.
Condumex Cables.
México.
2011.



CAPÍTULO 5 Y CAPÍTULO 8.

- **Departamento de Ingeniería Eléctrica de Potencia**, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

CAPÍTULO 6.

5. **CONDUMEX.**
Manual Técnico de Cables de Energía.
Condumex Cables.
México.
2006.

CAPÍTULO 7.

6. López Monroy, Guillermo.
Sistema de tierras en redes de distribución.
México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
2012, 157p.