



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge como parte del proyecto “*DISEÑO DE LA NUEVA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA EN MEDIA TENSIÓN DEL CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA*”, y consiste en determinar los niveles de corto circuito de la Nueva Red, tomando en cuenta todos los parámetros tales como la impedancia de los conductores y cualquier otro elemento que esté conectado a la red que deba considerarse en el cálculo de corto circuito en nodos importantes como: seccionadores, subestaciones derivadas, acometidas y lugares donde es necesario conocer los niveles para la coordinación de protecciones, sistemas de puesta a tierra, etc.

En primera instancia se describe de manera breve la historia de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como el estado actual de la Red de Distribución Eléctrica Subterránea de Ciudad Universitaria de 6.6 kV.

En el capítulo 1, se aborda teoría, definiciones y conceptos que servirán para describir un sistema de distribución eléctrica y su clasificación, así como las técnicas usadas en el cálculo del corto circuito, enfocándose, principalmente, en el método de la matriz de admitancias, ya que, mediante este método se tiene toda la información condensada, (en una matriz) haciendo el análisis más sencillo.

En el capítulo 2, se describen las características técnicas básicas que deben de cumplir el equipo eléctrico (cables, seccionadores, transformadores) que se ha seleccionado para la nueva red.

En el capítulo 3, se describe la topología de la nueva red, formada por las Subestaciones Generales No. 1, 2, 4 y 5.



En el capítulo 4, se realiza el cálculo de impedancias de secuencia del cable de energía aislado.

En el capítulo 5, se hace el cálculo de corto circuito por el método de la matriz de admitancias de uno de los Anillos de la Red.

Para comprobar los resultados obtenidos se hará una simulación en computadora, esperando obtener que los niveles sean los más parecidos.

Finalmente, en el capítulo 6, se muestran los niveles de corto circuito de todos los Anillos, obtenidos a partir de la simulación en computadora.



Breve Historia de la Ciudad Universitaria.

En 1536 el arzobispo fray Juan de Zumárraga tuvo la iniciativa de que la Nueva España contara con una universidad, pronto se sumó el virrey Antonio de Mendoza y la Corona dio una respuesta positiva en 1547. Pero no fue sino 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. (Ver Figura A)

Su apertura tuvo lugar el 25 de Enero de 1553, se organizó a imagen y semejanza de las universidades europeas de tradición escolástica, particularmente la de Salamanca. En 1778 fue abierta la Real Escuela de Cirugía y en 1792 el Real Colegio de Minería. Dos años más tarde fue establecida la Academia de San Carlos, para el estudio de las Bellas Artes.

Terminada la Guerra de Independencia, se suprimió el título de Real, ya que el rey de España dejó de tener soberanía en el país, se le llamó entonces Universidad Nacional y Pontificia, para después quedar sólo con el nombre de Universidad de México. En los años de 1833, 1857, 1861 y 1865 fue cerrada por los liberales, que la hacían ejemplo del retroceso. Existían establecimientos para el estudio de la medicina, la ingeniería, la teneduría de libros, la arquitectura y la jurisprudencia, a los que se sumó más adelante la escuela de agricultura.

Los antecedentes inmediatos de la Universidad Mexicana moderna datan del proyecto presentado por 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. Desafortunadamente, su proyecto no prosperó, pero Don Justo Sierra jamás abandonó la idea de establecer en México una Universidad Nacional. En dicho



proyecto, 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. Don Justo Sierra presentó de nuevo su proyecto en la apertura del Consejo Superior de Educación Pública, el 13 de Abril de 1902, y lo reiteró tres años más tarde ante el mismo organismo.



Figura A. Primer casa de la Real y Pontificia Universidad de México.

En el año de 1905 la idea adquirió mayor fuerza, a partir del momento en que la Secretaría de Instrucción Pública fue una realidad al quedar escindida de la antigua Secretaría de Justicia. Don Justo Sierra pasó de subsecretario a titular de la recién creada dependencia del Poder Ejecutivo. El 30 de Marzo de 1907, dentro del marco del centenario de la independencia, anunció que el presidente de la República estaba de acuerdo con la apertura de la Universidad Nacional. Para que el proyecto fuera realidad, la Secretaría envió al pedagogo Ezequiel A.



Chávez a Europa y a los Estados Unidos, en tres ocasiones, "para que analizara 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, primero, 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 concerniente a la enseñanza de la arquitectura y de altos estudios. Por fin, después de aprobado 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. La apertura de la Universidad Nacional fue recibida con repudio por la vieja guardia del positivismo ortodoxo. Agustín Aragón y Horacio Barreda, desde las páginas de la Revista Positiva, atacaron a Don Justo Sierra por atender contra el progreso, porque la universidad era una institución de la etapa metafísica del desarrollo humano, la cual ya estaba superada en México. A la defensa de la universidad salió el joven Antonio Caso, secretario de la Institución y presidente del Ateneo de la Juventud, asociación que se distinguió por su oposición al positivismo. Posteriormente, muchos de sus miembros destacaron por su colaboración con la Universidad Nacional. La polémica entre Antonio Caso y Agustín Aragón permitió el análisis de los argumentos de una y otra posiciones en torno a la educación superior.



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 Arq. 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 Arq. José Villagrán García. Para hacer el proyecto, la escuela de Arquitectura realizó un concurso de proyectos entre algunos profesores de la misma. El fallo fue favorable para el trabajo de los Arq. 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. Entre los participantes de esta gran 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 Insurgentes se halla la 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.
 - 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.
 - 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.

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.

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

- **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 water 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 a 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, 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. (Ver Figura B)



Figura B. Estadio Olímpico Universitario.

- **SERVICIOS 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.



En un inicio la 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 mas 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 la Ciudad Universitaria cuenta con una población estudiantil de cerca de 204,834 alumnos de licenciatura y posgrado, y alrededor de 35,679 académicos; aloja cerca de 2,098 edificios de los cuales, 139 son bibliotecas con mas 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 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.

Ingenieros universitarios como Carlos Lucas Marín, Antonio Macías de Mier y Roberto Brown Brown entre otros, bajo el mando del Ing. Luís Mascott López, proyectaron la construcción de dicha red, con el objetivo de brindar a las dependencias de la Ciudad Universitaria el máximo de continuidad en el servicio eléctrico.



En un principio, la red estaba constituida por una Subestación Principal con una capacidad instalada de 5 MVA distribuida en dos transformadores de 2.5 MVA con una tensión nominal de 23-6.6 kV. La energía eléctrica era proporcionada por la Compañía de Luz y Fuerza Motriz S.A. por medio de dos alimentadores aéreos de 23 kV provenientes de las Subestaciones Taxqueña y Olivar del Conde.

La red de 6.6 kV, estaba formada por tres alimentadores, A, B, y C, se utilizó cable subterráneo tripolar con aislamiento de papel impregnado en aceite de un calibre de 250 kCM, en una configuración de anillo abierto (Ver Capítulo 1); con el objetivo de garantizar la continuidad del servicio, ya que si presentaba una falla, por la misma configuración se podría restablecer el servicio rápidamente.

En el año de 1968, con motivo de los Juegos Olímpicos, se instalaron cuatro torres de iluminación dentro de las instalaciones en el Estadio Universitario, con lo cual la demanda de energía eléctrica aumentó, teniendo que adecuar la red instalando dos alimentadores mas, D y E, dispuestos nuevamente en configuración de anillo abierto (Ver Capítulo 1).

Al pasar de los años, la comunidad universitaria fue aumentando, lo que provocó que se construyeran nuevos edificios en donde alojar la creciente demanda estudiantil, lo que aumentó la demanda de energía eléctrica, por lo que a la Subestación Eléctrica Principal se le cambiaron los dos transformadores de 2.5 MVA por dos de mayor capacidad, 7.5 MVA de 23-6.6 kV cada uno, para satisfacer la demanda excedente teniendo un margen de reserva.

Para el año de 1981 se construyó la Subestación General No. 2 con el propósito de liberar del exceso de carga a la Subestación General No. 1 que existía desde el año de 1976 debido a la construcción de nuevos edificios que albergaban Institutos, Facultades y Centros de Investigación. Se instalaron dos



transformadores con una capacidad de 5 MVA con una tensión de 23-6.6 kV cada uno; operando solamente uno y en caso de falla o mantenimiento, se tiene otro transformador de respaldo. Cuenta con cinco alimentadores, cuatro de ellos en una configuración de anillo abierto, formando dos anillos (Ver Capítulo 1) y un alimentador que funciona de enlace entre la Subestación General No. 1 y 2.

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

Estado Actual del Sistema Eléctrico de Distribución de Ciudad Universitaria.

Actualmente la red se encuentra integrada por la Subestación General No. 1, ubicada en la parte norte de Ciudad Universitaria, a un costado de la Facultad de Psicología. Por la Subestación General No. 2 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 (fuera de norma). La Subestación General No. 3, ubicada en la avenida del Imán, la Subestación General No. 4 que se localiza frente al edificio nuevo del Instituto de Investigaciones Biomédicas y por la Subestación General No. 5, ubicada a un costado del edificio de Relaciones Laborales; las tres subestaciones tienen una tensión de distribución de 23 kV. (Ver Tabla No. 1)

La configuración actual de la topología de la Red Eléctrica de Distribución corresponde a un sistema de anillos abiertos (Ver Capítulo 1) para proporcionar mayor confiabilidad debido a su configuración, ya que en caso de falla de alguna sección, el servicio puede ser restablecido rápidamente. Además de contar con dos alimentadores en configuración radial (Ver Capítulo 1).



En este trabajo nos avocamos únicamente a las Subestaciones Generales No. 1, 2, 4 y 5.

Subestación	Tensión [kV]	Capacidad [kVA]	Alimentadores	Subestaciones Derivadas
Subestación General No. 1	23 – 6.6	7500	12	77
Subestación General No. 2	23 – 6.6	5000	5	37
Subestación General No. 4	23	-	1	1
Subestación General No. 5	23	-	1	1

Tabla No. 1. Subestaciones Generales del Sistema de Distribución Subterránea de Ciudad Universitaria.

El equipo 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. (Ver Figura C)



Figura C. Cable tripolar con aislamiento de papel impregnado en 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. (Ver Figura D)



Figura D. Seccionador trifásico de 3 vías con aislamiento en aceite mineral.



Figura E. Interruptores en pequeño volumen de aceite (Trompos).



- **Equipo de Protección.** Se cuenta con interruptores en pequeño volumen de aceite (trompos) 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 otra maniobra. En Ciudad Universitaria se han presentado casos en los cuales han explotado, incluso volando las tapas de concreto de los registros. (Ver Figura E)



Figura F. Subestación Derivada.

- **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 (fuera de norma), por lo que no se tiene un control adecuado del personal que ingresa a las subestaciones poniendo en riesgo su vida. (Ver Figura F)

En 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.