

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA EN MEDIA TENSIÓN DE 6 kV DE CIUDAD UNIVERSITARIA"

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

CORTÉS GARCIA MARIO ALBERTO
OSORNO RIVERA WILFRIDO
QUIROZ JUÁREZ CAROLINA



ASESOR: ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY

MÉXICO DF, 2007

Dedicatoria

Papá y Mamá.

Había veces en las cuales no encontraba el sentido de levantarme temprano, antes de amanecer para hacer un largo camino a la facultad, andar preocupado siempre, por tareas, proyectos y exámenes. Al sonar el despertador rebuscaba entre mis sueños un propósito para salir de la cama y al final siempre fueron ustedes, sus ejemplos su determinación, ustedes fueron mi propósito para levantarme cada día para hacer esas horas de camino, para andar ocupado y para desvelarme. No se si he cumplido con su esfuerzo al titularme pero les dedico este último trabajo. Muchas gracias por ser mis padres.

Gracias a ustedes soy y por ustedes seré mejor.

Papá Juan y Tía Estela.

Gracias por ser mis segundos padres, por aguantarme todo el día en su casa, por aconsejarme, por preocuparse por mi y mis hermanos y por estar siempre cuando los he necesitado. Por darme una gran familia. Es también para ustedes esta tesis.

Te dedico esta tesis.

A ti que eres mi hermano del alma y que siempre te preocupas por mí.

A ti mi amiga quien resulto ser mi mejor amigo.

A ti que con tu ayuda me ayudaste a lograr esta meta.

A ti que compartiste tu sabiduría.

A ti a quien no supe querer como querías.

Agradecimientos

Ing. Guillermo López Monroy.

Por darme la oportunidad de colaborar en la realización de esta tesis, por el tiempo dedicado y por compartir su experiencia con nosotros.

Ing. Roberto Espinosa Lara.
Ing. Julio Luna Castillo.
Ing. Alberto Cortés Mondragón.

Por el apoyo para la realización de esta tesis, por su tiempo, dedicación y amistad.

Nancy, Marcelo, Ángeles, Daniel, Javier, Ricardo, Juan, Rafael

Porque a pesar de las discusiones y problemas por no saber ser tolerantes, me han demostrado que todo puede fallar y que todo puede faltar menos el apoyo incondicional de los hermanos. Dios nos puso en el camino nosotros decidimos caminarlo juntos como familia. Mil gracias.

Carlos Rafael, Pablo Alberto Macedo, Iván Domínguez, Laura Primavera, Adrián Rodríguez, Alejandro Baleón, Charly, Isaías Núñez, Maribel, Diego Míreles, Felipe Guerrero, Carlos Raúl Alvarado, Helaman, Deyanira Rubio, Iván, Maricruz Yazna, Cristian Rocha, Mayra Lezama, Patricia Tonantzin, Sara Elena Martínez, Nayeli Rocha, Carolina Martínez, Alejandra Zúñiga, Tania, Eduardo Rios, Pamela Valdez, Gaby, Mario Olguín, Esther, Alberto, Josué Fernando, Carla, José Luis Ayala, Oscar, Roy, Emmanuel.

Espero no me haya faltado nadie por mencionar porque las personas mencionadas fueron, son y serán personas importantes en mi vida, mis recuerdos alegres fueron regalados por mis amigos de quienes me disculpo por olvidarlos en ocasiones o por no saber perdonarlos ya que ustedes me han dado siempre amistad y comprensión, algunos fueron como mis hermanos cuando mas los necesitaba. Con cada uno de ustedes pase buenos momentos, compartimos nuestras vidas. Creo haber nacido con buena estrella porque el destino me los dio como amigos. Muchas gracias.

Carolina y Wilfrido

Les doy gracias por animarme a seguir con ustedes y por aguantarme porque los considero mis amigos.

Mario Alberto Cortés Garcia

Dedico todo el esfuerzo y todo el tiempo contenido en estas páginas indudablemente a mi familia, esperando devolver un poco de lo mucho.

A mi Madre

Porque en este largo y sinuoso camino has estado a mi lado a pesar de todo, observando, cuidando y aconsejando mis pasos, mis tropiezos, mis aciertos; porque me dejaste caminar y aprender de los caminos errados, por empujar cuando me detuve, por ser brújula, por compartir mi búsqueda depositando tu confianza, porque gracias a ti, que siempre me has dado más de lo que puedes, hoy puedo seguir adelante.

A mis Hermanos

Por ser más que acompañantes en este trajín, con su apoyo, su complicidad, su tolerancia, su alegría, sus errores, por seguir compartiendo todos esos momentos. Recuerden nunca retroceder, pues al final, si andamos con el corazón todo valdrá la pena.

Es deber, es compromiso y es satisfacción agradecer a todos aquellos que con su amistad han sido impulso:

***A mis profesores**, por toda esa valiosa enseñanza, por todo ese apoyo y por todo aquella paciencia. Espero encuentren complacencia en este esfuerzo.*

***A ustedes amigos de rondalla**, después de tanto tiempo, tantas noches sin dormir, tantas risas, tantas trovas, tantas vivencias, seguimos siendo partícipes de nuestros vidas y nuestros sueños.*

***A mis colegas,** que hicieron de este aprendizaje, un recorrido lleno de momentos gratos, porque a su lado comprendí el valor del compañerismo ante los fracasos y los logros, porque me di cuenta que a pesar de todo siempre habrá motivo por el cual reír. Continuemos siendo equipo.*

***A mis compañeros de aventura,** por enseñarme a librar mis escollos remando siempre mi propia canoa, aún nos restan muchas sendas por conquistar.*

***A ti**, que en estas travesías me has tomado de la mano y me has llevado a conocer tu eterna sonrisa y tu cariño incondicional.*

***A ustedes,** que han compartido un instante y forman hoy parte de los recuerdos, las experiencias y los logros, gracias por tantos buenos momentos.*

Wilfrido Osorno Rivera

Dedicatoria

A mis padres. Valentín, Rocío:

A quien, más que a ustedes puedo dedicar este trabajo que representa la culminación de muchos años de estudio, trabajo, fracasos y alegrías. Este primer logro en mi vida, es producto de años de esfuerzo, dedicación, amor y apoyo incondicional por parte de ustedes, quienes trabajando como un gran equipo dieron la base para formar un hogar unido por la confianza y el amor que permitió que llegara este momento. Me siento enormemente orgullosa de tenerlos como padres y afortunada de tenerlos a mi lado en estos momentos. GRACIAS.

A mis padres. Eufemio, Albina:

A quienes puedo admirar y amar en la vida por haber sido pilar en la formación de una gran familia, cuya lealtad a sus valores permitió la existencia de gente honesta y con principios que me guiaron a través de los años para llegar hasta este momento. Agradezco a la vida que ustedes hayan sido las dos personas, bajo cuyo seno comencé mi desarrollo en este mundo. Los admiro, los amo, y sobretodo agradezco el ejemplo y la mano sincera tendida en todo momento. GRACIAS.

A mi hermana. Ernestina:

Mi primera compañera de juegos, travesuras, risas y pleitos, inseparable en sentimiento profundo, y de quien he aprendido mucho. Admirable por su tenacidad, inteligencia y apasionamientos, entregada a su firme creencia y valores.

A Ricardo Mondragón:

De quien he aprendido mucho, y me permitió madurar para avanzar a esta nueva etapa en mi vida. Como parte fundamental en mi proyecto de vida personal, agradezco el haberte conocido y el que sigamos juntos, uno al lado del otro, conquistando metas a mediano plazo y trazando otras tantas a largo plazo.

A Héctor Mercado:

Pilar en la etapa más dura de mi vida, hasta ahora. Amigo que tuvo la paciencia de apoyarme y tenderme una mano sincera en los momentos difíciles, con quien disfruté los últimos semestres en esta nuestra querida Universidad y compartí un proyecto de desarrollo profesional.

Agradecimientos

Ing. Guillermo López Monroy,

Por habernos dado la oportunidad de participar en este importante proyecto, por haber creído en nosotros, por apoyarnos y guiarnos.

Dr. Eduardo Arriola Valdés,

Por el apoyo en mi desarrollo como persona y estudiante de la Facultad de Ingeniería, y por tomar este proyecto.

Dr. Pablo Álvarez Watkins
M.I. Roberto Espinosa Lara
Ing. Julio Luna Castillo
Ing. Alberto Cortés Mondragón

Por la paciencia, y apoyo en la culminación de este proceso.

Gerardo, Rodrigo, Saúl, Cari, Guadalupe y Héctor

A mis tíos, de quienes recibí mucha paciencia, amor y sobretodo influyeron en mi primera formación.

Walter, Francisco Martínez, Erick Pineda, Victor, Brenda, Roberto, Ramiro, Alejandro Rosales, Marcos Peña, Nancy, Héctor Latapí, Iesus, Oscar, Alejandra, Elizabeth, Roxana, Carla Martínez, Ana Laura, Sergio Ordoñez, Andrea, Jill.

A mis amigos y compañeros que me tendieron la mano durante estos años en diferentes planos, con quienes, a pesar del tiempo persiste el gusto de reencontrarnos y seguir disfrutando de momentos invaluables. De quienes aprendí muchísimo por ser grandes personas.
Wilfrido y Mario Alberto.

A pesar de los momentos difíciles de poco entendimiento, predominaron aquellos que nos permitieron concluir con este proyecto. Por el apoyo de parte de ustedes dos, por la paciencia en los altibajos y por la amistad que de ello surgió.

Carolina Quiroz Juárez

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN 1 – 11

Antecedentes históricos de Ciudad Universitaria. 2
Historia del Sistema Eléctrico de Ciudad Universitaria. 8

CAPITULO I. HISTORIA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS 12 – 23

I. 1. Breve historia de la energía eléctrica. 12
I. 2. Desarrollo de los cables aislados y su aplicación. 19

CAPÍTULO II. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS. 24 – 45

II.1. Topología de un sistema de distribución subterráneo. Estructuras fundamentales 24
II. 1. 2. Ventajas de un sistema de distribución subterráneo 25
II. 1. 3. Estructuras fundamentales 26
II. 1. 3. 1 Clasificación de redes subterráneas por su operación 26
II. 1. 4. Estructuras de media tensión para redes subterráneas 28
II. 2. Características de diseño 33
II. 3. Equipo de un sistema de distribución subterráneo 34
II. 3. 1. Transformadores de distribución 37
II. 3. 2. Dispositivos de seccionamiento 41
II. 3. 3. Elementos de acoplamiento y elementos de protección 43
II. 3. 4. Alimentadores primarios 45

CAPÍTULO III. CABLES SUBTERRÁNEOS. 46 – 73

III. 1 Constitución de los cables subterráneos 47
III. 2 Clasificación de los cables subterráneos 59
III. 3 Cables subterráneos más utilizados 62
III. 4 Accesorios de los cables subterráneos 64
III. 5 Instalación de los Cables Subterráneos 69

CAPÍTULO IV. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES. 74 – 82

IV.1 Tipos de pérdidas en media tensión 74
IV. 2 Pérdidas en la línea de distribución 74
IV. 2. 1 Pérdidas del conductor . Efecto Joule 74
IV. 2. 2 Pérdidas por radiación 77
IV. 2. 3 Pérdidas por calentamiento del dieléctrico 77
IV. 2. 4 Pérdidas por acoplamiento 77
IV. 3 Efecto de las Armónicas 78
IV. 4 Pérdidas por parámetros de la línea 78
IV. 5 Metodología para cálculo de pérdidas en conductores 80

CAPÍTULO V. CAMBIO DE TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA. 83 – 221

V. 1 Topología de la Red Eléctrica de Ciudad Universitaria 83
V. 2 Descripción del equipo eléctrico de distribución existente 84
V. 2. 1 Transformadores 84
V. 2. 2 Subestaciones y sus componentes 86
V. 2. 3 Equipo de seccionamiento 88
V. 2. 4 Equipo de protección 88
V. 2. 5 Conductores 88
V. 2. 6 Ductos 89
V. 3 Evaluación de las condiciones de la Red Eléctrica y del estado físico del equipo eléctrico. 89
V. 4 Subestación General No. 1 92
V. 4. 1 Anillo I 97
V. 4. 1. 1 Alimentador A 98
V. 4. 1. 2 Alimentador B 124
V. 4. 2 Anillo II 125
V. 4. 2. 1 Alimentador C 125
V. 4. 2. 2 Alimentador D 126
V. 4. 3 Anillo III 127
V. 4. 3. 1 Alimentador E 127
V. 4. 3. 2 Alimentador F 128
V. 4. 4 Anillo IV 156
V. 4. 4. 1 Alimentador G 156
V. 4. 4. 2 Alimentador H 161
V. 4. 5 Anillo V 185
V. 4. 5. 1 Alimentador I 186
V. 4. 5. 2 Alimentador J 190
V. 4. 6 Alimentador K 194
V. 5 Subestación General No. 2 199
V. 5. 1 Anillo I 203
V. 5. 1. 1 Circuito I 203
V. 5. 1. 2 Circuito II 207
V. 5. 2 Anillo II 212
V. 5. 2. 1 Circuito III 212
V. 5. 2. 2 Circuito IV 216

CAPÍTULO VI. PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA DE CIUDAD UNIVERSITARIA. 222- 234

VI. 1. Justificación de la propuesta 222
VI. 2. Propuesta técnico económica 225

CONCLUSIONES 235 – 238

ANEXO I. CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CONDUCTORES. 239 – 240

BIBLIOGRAFÍA 241 – 243

ÍNDICE DE IMÁGENES

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo corresponde el estudio de diagnóstico del proyecto Sistema de Distribución Subterránea de la Ciudad Universitaria, referente al cambio de tensión.

Primero abordamos los antecedentes del estudio, que corresponden al marco histórico del trabajo, tomando en cuenta que los sistemas de distribución tienen antecedentes desde el siglo XIX, se han ido modernizando, y haciendo más eficientes hasta nuestros días.

Posteriormente, utilizamos definiciones, conceptos y teoría que nos proporcionan el ambiente adecuado para hablar de los sistemas de distribución en cuanto a las distintas configuraciones que existen de acuerdo a las necesidades de cada zona, en cuanto a los componentes de los sistemas de distribución, que son parte esencial para el funcionamiento de los mismos. En esta parte de teoría nos enfocamos en cables, sus componentes, tipos que existen, etc. y los tipos de pérdidas que podemos encontrar en los sistemas de distribución, y en específico en conductores, porque corresponden a la parte esencial de nuestro trabajo de tesis, pérdidas en conductores, para dar soporte a la propuesta del cambio de tensión en el Sistema Eléctrico de Ciudad Universitaria.

Por último, nos avocamos al análisis de toda la información generada a lo largo de este trabajo, enfocándonos a la información específica del sistema de distribución de Ciudad Universitaria. Elaboramos análisis de demanda (media y máxima), obtuvimos factores de carga y pérdidas (ajustados a cada parte del circuito), y obtuvimos pérdidas por efecto Joule, principalmente, porque son las más significativas.

Antecedentes históricos de Ciudad Universitaria.

El 21 de septiembre de 1551 fue fundada la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el nombre de "Real y Pontificia Universidad de México", en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Durante el mandato de Porfirio Díaz, el 22 de septiembre de 1910, se inauguró la Universidad Nacional de México (sin su carácter de autonomía) durante la presentación de su Ley Constitutiva por parte de Don Justo Sierra Méndez. Posteriormente, en 1921 Don José Vasconcelos, entonces Rector de la Universidad Nacional de México, creó el escudo y el lema de la UNAM que son
parte de la identidad de la Universidad y perduran hasta el día de hoy. Es hasta 1929 cuando la UNAM obtiene su autonomía.

El edificio de la Rectoría, las dependencias administrativas, la Escuela Nacional Preparatoria y la Escuela Nacional de Jurisprudencia, se alojaban entre las calles de Justo Sierra y San Idelfonso. La Escuela Nacional de Medicina estaba instalada en el antiguo edificio de la Inquisición, en la Plaza de Santo Domingo. La Escuela Nacional de Artes Plásticas y la Escuela de Arquitectura en la calle de la Academia. La Hemeroteca Nacional, en el antiguo templo de San Pedro y San Pablo. El Instituto de Investigaciones Sociales, en la calle de Licenciado Verdad. El Instituto de Investigaciones Estéticas, en la calle de República de Argentina. La Imprenta Universitaria en la calle de Bolivia. La Escuela Nacional de Economía en la calle de República de Cuba. La Escuela de Odontología en Guatemala y Licenciado Verdad. La Escuela Nacional de Ingenieros en Tacuba. Todas estas escuelas y oficinas administrativas se localizaban cerca entre sí, de tal forma que toda la zona que ocupaban era conocida como “Barrio Universitario”, por la continua afluencia de estudiantes.

Debido a la lejanía entre las escuelas y oficinas de la Universidad y todos los problemas que de ello derivaban, desde la década de los veinte ya existía un deseo latente de construir una Ciudad Universitaria que alojaran todas las

entidades. En 1928, Mauricio M. Campos y Marcial Gutiérrez Camarena presentaron, como tesis profesional para recibirse de arquitectos, un proyecto de la Ciudad Universitaria, localizado en los terrenos que en la actualidad ocupa el Centro Hospitalario de Huipulco, en las cercanías de Tlalpan.

En 1943, siendo Rector de la Universidad el Lic. Rodolfo Brito Foucher, fue decidido que Ciudad Universitaria se ubicara al sur de la Ciudad, en el Pedregal de San Angel, por lo que desde entonces se inicio la gestión para adquirir estos predios. Posteriormente, siendo Rector el Lic. Genaro Fernández McGregor, la Universidad propuso al Gobierno Federal la promulgación de una Ley “Sobre
Fundación y Construcción de Ciudad Universitaria”, que fue aprobada por el Congreso de la Unión el 31 de diciembre de 1945.

En 1946, siendo Rector el Dr. Salvador Zubirán, se gestionó que el Gobierno del General Manuel Ávila Camacho adquiriera los terrenos en cuestión, por medio del Decreto de Expropiación que se expidió el 11 de septiembre del mismo año. 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 la 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. Carlos Obregón Santacilia, y la Secretaría de Salubridad y Asistencia 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 Directora, 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 en 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.

Después de un inicio lento por la cantidad de problemas, en octubre de 1949, se iniciaron las obras, con muy pocos recursos económicos.
De acuerdo al programa general bajo el cual se rigió la Comisión Técnica Directora, el proyecto se dividió en 4 grandes zonas fundamentales: Escolar, Práctica de Deportes, Estadio de Exhibición y Servicios Comunes.

- ZONA ESCOLAR. Limitada por los edificios escolares y administrativos:
  a) Edificios administrativos. Grupo de edificios correspondientes al gobierno de la Universidad: Rectoría, Biblioteca y Museo.
  b) Humanidades. Constituido por la Facultad de Filosofía y Letras con sus institutos, la Escuela de Jurisprudencia, Economía y Comercio y la Escuela de Ciencias Políticas y Sociales.
  c) Ciencias. Constituido por la Facultad de Ciencias con sus institutos y las Escuelas de Ciencias Químicas e Ingeniería. También se encuentran el Instituto de Geología y los edificios para Investigación de Energía Nuclear.
  d) Museo de Arte y Escuela de Arquitectura. Conjunto formado por la Escuela de Arquitectura, el Museo e Instituto de Arte y el Teatro Experimental.
  e) Ciencias Biológicas. Lo constituyen Medicina, Odontología, Veterinaria y el Instituto de Biología.

- PRÁCTICA DE DEPORTES. Se proyectaron plataformas en diferentes niveles para situar las distintas canchas de deportes. En el límite con los campos deportivos se proyectaron habitaciones para estudiantes,

que no se llegaron a concretar. Los campos deportivos fueron proyectados por Mario Pani y Enrique del Moral.

- ESTADIO DE EXHIBICIÓN. El estadio, con capacidad para 75 000 espectadores, está situado frente a la torre de Rectoría, y consiste en un anillo de circunvalación. Fue proyectado por los arquitectos Augusto Pérez Palacios, Raúl Salinas Moro y Jorge Bravo Jiménez. Fue construido en 1954 como parte del plan maestro original, su nombre original era Estadio Universitario. Se encuentra decorado por Diego Rivera. Originalmente era casa de los equipos universitarios de fútbol americano. El estadio modificó su nombre en 1968, al ser sede de los Juegos Olímpicos de ese año.



FIGURA 1. ESTADIO DE EXHIBICIÓN, CIUDAD UNIVERSITARIA.

- SERVICIOS GENERALES. De vital importancia para el funcionamiento general, comprende los edificios destinados a alojar servicios comunes como talleres, almacenes, bodegas, incineradores, servicios de vigilancia y conservación.

Las distintas áreas estaban organizadas en anillos dentro de una manzana mayor, pero con el paso del tiempo y con la creciente demanda estudiantil, se han construido anillos mayores para reubicar Escuelas y Facultades dentro del Campus Universitario.

Las vialidades estuvieron a cargo de Juan Durán, Jesús Domínguez, Edmundo Rojas González y Santiago Carro. El Paisajismo estuvo bajo el mando de Luis Barragán y Alfonso Cuevas Alemán.

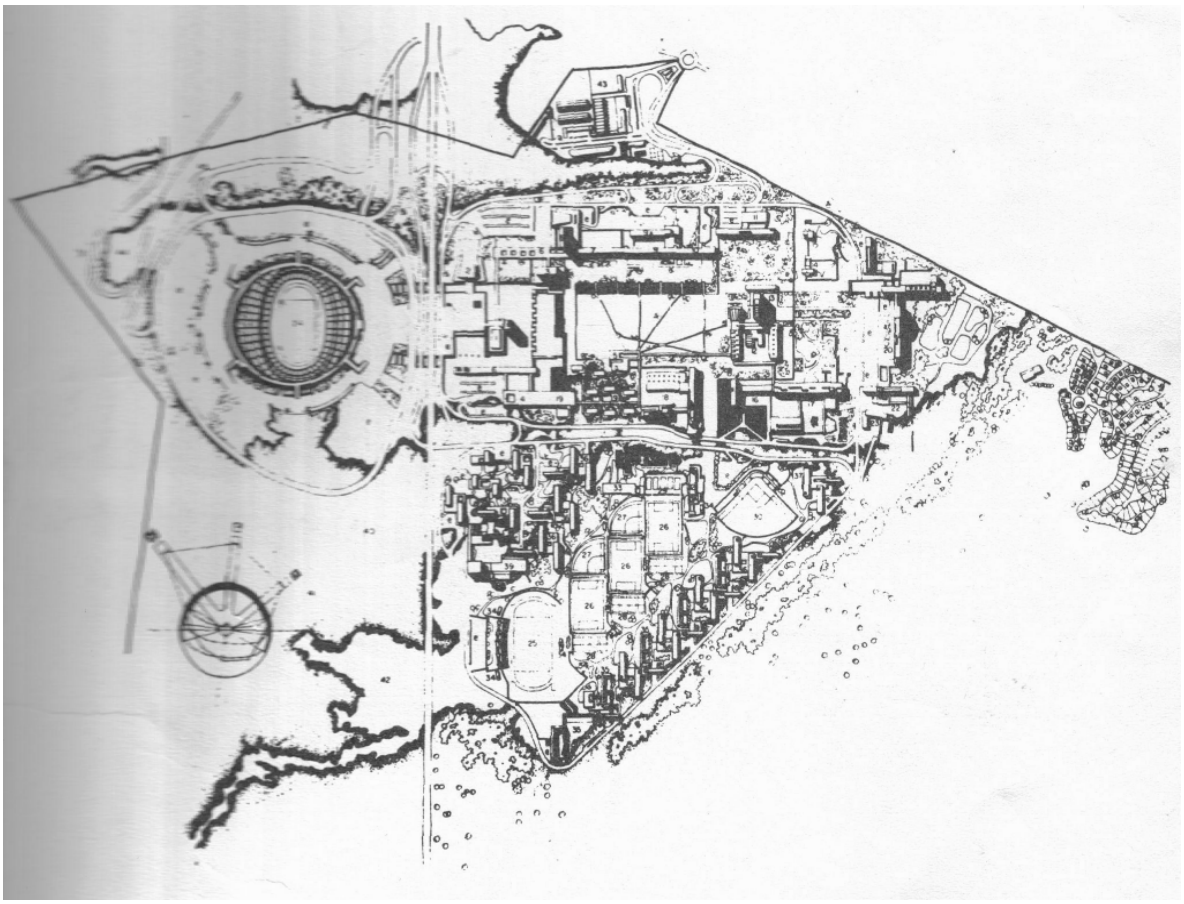


FIGURA 2. PROYECTO DE CONJUNTO, CIUDAD UNIVERSITARIA. JUNIO 1951.

Para 1949 la población estudiantil de la Universidad era de 23 mil 192 alumnos, siendo 19 mil 242 varones y 3 mil 950 mujeres. En ese mismo año fue aprobado el Reglamento del Consejo Universitario y fue creada la Unión de Universidades Latinoamericanas.

Para 1950 se celebró la ceremonia de la primera piedra de la Ciudad Universitaria, colocada en la Facultad de Ciencias, primer edificio del Campus.

En 1954 el Campus Ciudad Universitaria fue inaugurado. Entregándose formalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México.

La Ciudad Universitaria tenía una extensión original de 2 millones de metros cuadrados, en la actualidad es de más de 6 millones, incluyendo la Reserva Ecológica y el Estadio Olímpico, lo que nos da una idea del crecimiento de la misma; esta extensión es más de lo que miden muchas ciudades importantes en Europa e incluso lo que miden algunos de los países pequeños como el Vaticano o Mónaco.

Actualmente la Ciudad Universitaria cuenta con una población escolar de cerca de 90,000 alumnos de licenciatura y posgrado, y de alrededor de 13,500 académicos: aloja cerca de 1,000 edificios de los cuales, 138 son bibliotecas con más de 5 millones de libros, una sala de conciertos Nezahualcóyotl, una biblioteca central y otra nacional, un espacio escultórico de proporciones colosales y el estadio olímpico México 68, con capacidad para 72,000 espectadores.

El Estadio Universitario modificó su nombre en 1968, al ser sede de los Juegos Olímpicos de ese año; de ese modo, la UNAM se convirtió en la única Universidad en el Mundo en la cual se hayan celebrado tales juegos.

La Ciudad Universitaria, que en el año de 2005 fue catalogada como Monumento Histórico Nacional y en 2007 fue catalogada como Patrimonio de la Humanidad ante la UNESCO.
En la organización y diseño de la Ciudad Universitaria, uno de los factores indispensables y por demás importante fue el diseño y construcción de la Red de Distribución de Energía Eléctrica Subterránea.

La distribución de energía eléctrica a cada una de las dependencias de Ciudad Universitaria fue planeada para que garantizara al máximo la continuidad del servicio.

Historia del Sistema Eléctrico de Ciudad Universitaria.

Uno de los aspectos importantes en el diseño de Ciudad Universitaria, fue el proyecto de la Red de Distribución de Energía Eléctrica Subterránea. Los encargados de la planeación, diseño y construcción de ésta, corrieron a cargo de los Ingenieros Carlos Luca Marín, Antonio Macías de Mier y Roberto Brown Brown entre otros, que participaron bajo la dirección del Ing. Luis Hascot. El objetivo principal en el diseño de la red fue garantizar la máxima continuidad del servicio de distribución de energía eléctrica en el Campus Universitario.

La Red de Distribución originalmente estaba integrada por la subestación principal No.1, que fue construida a partir de 1952 y puesta en servicio en 1954. Se ubicó en la parte norte de Ciudad Universitaria, detrás de la Facultad de Psicología, y contenía dos transformadores trifásicos con capacidad de 2 500 kVA de 23 kV a 6.6 kV cada uno, por lo cual, tenía una capacidad de 5 000 kVA.

La subestación era alimentada por la Compañía de Luz y Fuerza del Centro a través de dos alimentadores aéreos de 23 kV, provenientes de las Subestaciones Olivar del Conde y Taxqueña. Internamente, la red se encontraba integrada por tres anillos con dos alimentadores cada uno.

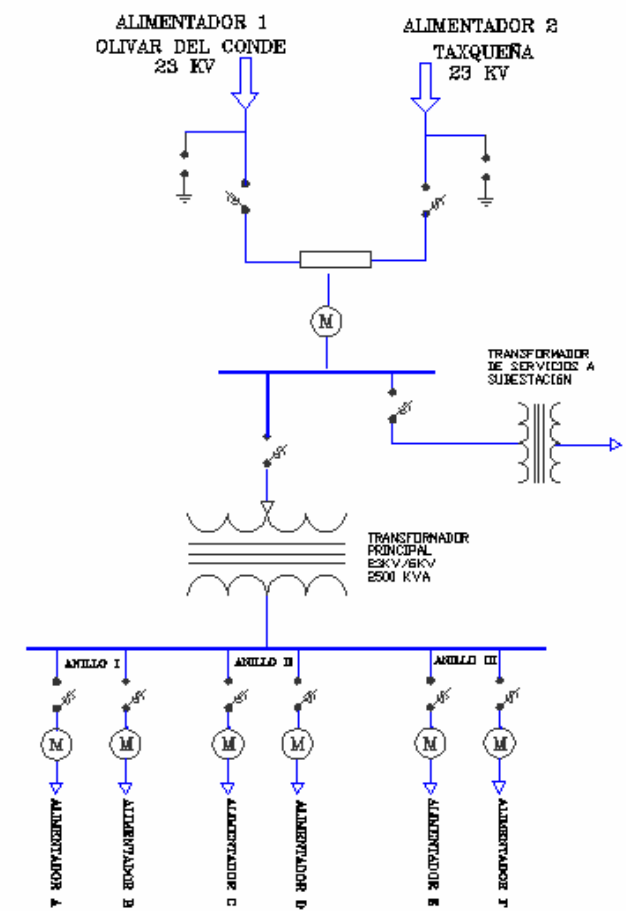


DIAGRAMA 1. SUBESTACIÓN PRINCIPAL No. 1. 1952

Se dispuso la configuración de anillo para proporcionar más confiabilidad al sistema, ya que en caso de falla de alguna sección, el servicio puede ser restablecido rápidamente.

Posteriormente, con motivo de los Juegos Olímpicos de 1968 se realizaron modificaciones en la estructura eléctrica del Estadio Olímpico Universitario, debido principalmente al aumento del nivel de iluminación. Las modificaciones consistieron principalmente en la adición de torres de alumbrado de la pista y del campo. Con esta demanda de energía eléctrica, la subestación principal No. 1 tuvo que ser ampliada. Por lo que se colocó, un transformador de 2500 kVA y se construyeron dos nuevos circuitos, el D y el E.

Con el aumento de la población escolar y la construcción de nuevos edificios en Ciudad Universitaria, la demanda de energía eléctrica aumentó nuevamente, por lo cual los transformadores de 2 500 kVA de la subestación

No. 1 fueron sustituidos por dos transformadores de 7 500 kVA de 23 a 6.6 kV que dieron la posibilidad de absorber la carga excedente y dar un margen de reserva al sistema eléctrico proveyendo de mayor confiabilidad.

Para 1976 el aumento de la carga en el sistema de Distribución, debido al aumento de institutos, facultades, centros de investigación y al crecimiento del circuito exterior, preveía la creación de una nueva subestación. Al encontrarse saturada la Subestación Principal se construyó la Subestación alimentadora No. 2 en 1981. La subestación No. 2 se construyó en el circuito exterior junto al Centro de Instrumentos frente a la Escuela de Trabajo Social. La ubicación de la subestación respondió a las condiciones de centro de carga, acometida y facilidad de acceso. Además, está integrada por dos transformadores de 2 500 kVA que fueron obtenidos de la subestación No. 1 por su buen estado de operación.

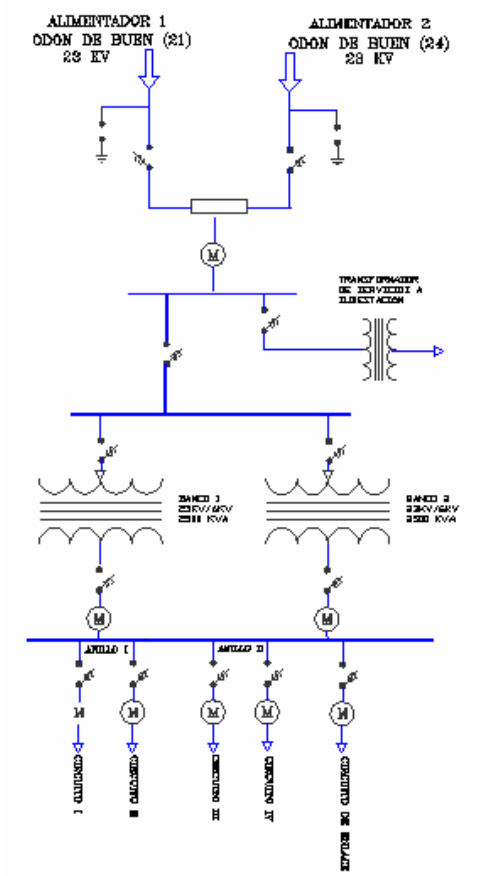


DIAGRAMA 2. SUBESTACIÒN PRINCIPAL No. 2. 1981.

La nueva Red de Distribución de 6 kV estaba conformada por dos anillos, I y II, con dos alimentadores cada uno que alimentaban a 12 subestaciones derivadas. Debido al rápido crecimiento de Ciudad Universitaria con el paso del tiempo, las Subestaciones 1 y 2 se han tenido que ir modificando aún más para soportar la creciente demanda. Los cambios han consistido en aumentar la capacidad instalada en cada una de las subestaciones y en diversificar los circuitos derivados.

Actualmente, la Red de Distribución de Ciudad Universitaria de 6000 Volts es alimentada por Luz y Fuerza del Centro desde la Subestación Odón de Buen por medio de cuatro alimentadores de 23 kV que llegan a las subestaciones generales 1 y 2. La subestación general 3 fue construida recientemente en la zona cultural de Ciudad Universitaria, es alimentada y a su vez distribuye energía eléctrica en 23kV.

CAPÌTULO I. HISTORIA DE LOS SISTEMAS ELÈCTRICOS.

I. 1. Breve historia de la energía eléctrica.

Las primeras investigaciones sobre la energía eléctrica surgieron a mediados del siglo XVIII con el físico francés Coulomb, quien explicó la repulsión o atracción entre cargas eléctricas de igual o de distinto signo. Hacia 1800, el científico italiano Alessandro Volta inventó la pila, con la cual muchos científicos comenzaron a investigar los fenómenos eléctricos y sistematizarlos con las primeras leyes eléctricas. En 1820, el físico danés Oersted describió el fenómeno que establece la relación científica entre la electricidad y el magnetismo, a partir de lo cual, el francés Ampére formuló una ley sobre el electromagnetismo que define matemáticamente la fuerza magnética interactuando entre dos corrientes eléctricas.

En 1831, el inglés Faraday descubrió y explicó el efecto denominado inducción electromagnética, abriendo la posibilidad de generar corriente eléctrica a partir de la energía mecánica, rotando las espiras en campos magnéticos fijos creados por imanes o por electroimanes. El primer dinamo, basada en los principios de Faraday, fue construida en 1832 por el fabricante francés de herramientas Hipólito Pixii. Sin embargo, fue hasta 35 años después que se construyó el primer dinamo funcional por el ingeniero prusiano Ernst Werner von Siemens, cuyo eje podía ser accionado por una máquina de vapor.

Después de casi 50 años en el año de 1881, el inventor norteamericano Thomas Alva Edison produjo la primera lámpara incandescente con un filamento
de algodón carbonizado. En aquellos momentos los principales avances tecnológicos se habían realizado en acumuladores y generadores eléctricos en corriente continua, por lo que se planteó la distribución de energía eléctrica con esta tecnología.

Así, para 1882 el francés Marcel Deprez, experimentaba con la transmisión en corriente directa y realizó el primer tendido de una línea de 2 kV DC en una distancia de 57 km, entre Miesbach y Munich, en Alemania. Con dos cables de 0.188" de diámetro. El experimento no fue muy exitoso por las pérdidas excesivas en los conductores, pero demostró la necesidad de utilizar altas tensiones para distribuir la energía eléctrica. Este mismo año John Hopkinson, profesor de ingeniería eléctrica en Inglaterra, patentó el sistema de distribución de corriente directa de tres hilos, con lo que se disminuía un 50% las pérdidas en los conductores.

El 12 de enero de 1882 la compañía de Edison instaló la primera planta suministradora de electricidad, se localizó en el suburbio Holborn Viaduct de Londres. Esta planta utilizó el dínamo de Edison y proporcionaba energía suficiente para encender 3000 lámparas incandescentes. El 4 de septiembre del mismo año, Edison instaló el primer sistema eléctrico para vender energía para iluminación, en el 257 de Pearl Street, en New York. La estación contaba con 6 generadores de CD impulsados por máquinas de vapor con distribución de CD en tres hilos, 220-110 V CD con una potencia total de 30 kW. La estación se encontraba ubicada en el centro de su área de distribución, que constaba de 1 milla cuadrada y con sólo 59 clientes.

Mientras tanto, en febrero de 1882, Nikola Tesla descubrió el principio del campo magnético rotatorio concepto que necesitaba para construir un motor AC. Entendiendo este concepto desarrolló diseños de dínamos con dos circuitos, es decir, con dos fases y además logró desarrollar un generador de hasta 6 fases. Con sus estudios Tesla se convenció de las ventajas de la corriente alterna sobre la corriente directa. Tiempo después, consiguió un puesto en la Compañía Edison Continental de Paris, la cual fabricaba motores, generadores y equipamiento de iluminación DC bajo patentes de Edison.

Por otro lado, un inventor francés, Lucien H. Gaulard, y un ingeniero inglés, John D. Gibbs, obtuvieron en 1882 una patente para un dispositivo que ellos llamaron generador secundario. De esta manera incorporaron a un sistema de

iluminación la corriente alterna. El sistema que ellos patentaron fue una versión poco práctica de lo que hoy en día llamamos un transformador.

M. Deprez continuaba experimentando con la transmisión de energía con CD a largas distancias. En 1883 realizó su segundo intento en Francia, de Grenoble a Vizille, con una distancia de 8.75 millas. El conductor fue de bronce de 0.079" de diámetro, tensión de 3000 V CD, pudiendo transmitir 52 HP a lo largo de 35 millas con un conductor de 0.2" de diámetro. Los resultados obtenidos lo llevaron a concluir que para obtener una transmisión exitosa de energía era necesario usar corriente alterna y un alto voltaje.

Por su parte Edison patentaba su sistema de tres conductores para la transmisión de CD, con lo que se disminuía en un 60% las pérdidas en el cobre. El sistema fue probado el 4 de Julio de 1883 en Sunbury, Pennsylvania.

Gaulard y Gibbs inventaron un sistema de iluminación en el cual usaron corriente alterna y lámparas incandescentes, del tipo que inventó Edison. Demostraron su sistema en Inglaterra en 1883 y en Italia en 1884. Entre los visitantes a sus exposiciones estuvieron tres húngaros: Otto T. Bláthy, Max Déri y Karl Zipernowski. Ellos mejoraron el diseño del transformador y en mayo de 1885, en la Exposición Nacional Húngara en Budapest presentaron lo que resultó ser el prototipo del sistema de iluminación que se utiliza hasta hoy en día. Su sistema tenía 75 transformadores conectados en paralelo que alimentaban 1 067 lámparas incandescentes del tipo de Edison, todo esto alimentado por un generador de corriente alterna que proveía un voltaje de 1 350 V.

Dentro de los investigadores que presenciaron la demostración de Gaulard y Gibbs en Italia fue George Westinghouse, inventor y empresario norteamericano, que había hecho una fortuna fabricando frenos neumáticos para trenes y dispositivos eléctricos.

En 1884 el gerente de Continental Edison, Charles Batchelor, sugirió a Tesla trasladarse a la ciudad de New York para trabajar directamente con Edison,

Tesla aceptó su sugerencia. Edison y Tesla eran dos genios muy distintos con ideas que no concordaban, una de las principales diferencias era que Edison promovía fuertemente sistemas de potencia DC y se oponía con firmeza el desarrollo de sistemas de corriente alterna, sin embargo; Tesla estaba convencido de lo contrario. En ese entonces, Edison encomendó a Tesla mejorar los dínamos y motores en sus plantas de generación de corriente continua, prometiéndole 50,000 dólares si lo lograba, quizá pensando que era imposible. Esto motivó al croata, quien se puso a trabajar con entusiasmo y varios meses después, Tesla anunció que había terminado su trabajo, sorprendiendo al mismo Edison, quien le
comentó que la oferta de los 50,000 dólares había sido “un chiste americano", lo que enfureció al joven, quien de inmediato renunció.

Hacia 1885 Stanley ya había diseñado varios tipos de transformadores superiores a los de los científicos húngaros. Con ayuda de otros ingenieros, Oliver B. Sehallenberger y Albert Schmid, construyeron transformadores, con laminillas de hierro que evitaban las pérdidas de energía. El 23 de marzo de 1886 entró en operación una planta construida bajo la dirección de Stanley en el pueblo de Great Barrington, Masachusetts. Esta planta operó con corriente alterna, con un generador que proporcionaba 12 A a 500 V y que aumentó un conjunto de lámparas a una distancia de alrededor de 2 km. Por medio de transformadores redujeron el voltaje a 100 volts, que es el valor que se requiere para hacer funcionar las lámparas. Para demostrar que se podía transmitir la electricidad a distancias mayores por medio de un transformador elevaron el voltaje a un valor de 3 000 volts, y luego lo redujeron a 100 volts. El resultado fue un gran éxito y de inmediato Westinghouse inició la manufactura y venta de equipos para distribuir electricidad por medio de corriente alterna. Al mismo tiempo Schallenberger inventó un medidor de energía eléctrica consumida, para poder cobrarla en forma precisa.

A principios de 1887, Tesla con la ayuda de un amigo, A. K. Brown crearon la "Tesla Electric Company". Comprobada la eficiencia de sus sistemas AC, Tesla se dedicó a desarrollar una serie de inventos fundamentales para un sistema eléctrico de AC. En 1888 los patentó. Westinghouse, reconoció las ventajas

que ofrecían los sistemas de potencia AC con respecto a los de DC y apoyó los trabajos realizados por Tesla.

Surgieron algunos problemas cuando los ingenieros trabajaron con Westinghouse intentaron usar los diseños de Tesla, pues usaban frecuencias de 133 Hz y Tesla estaba seguro de que sus máquinas AC operaban de manera más eficiente a una frecuencia de 60 Hz.

Por su parte Tesla prefirió 240 volts, mientras que Thomas Edison usaba una corriente continua de 110 volts. Quizás Edison tenía un punto a favor en el factor de seguridad del voltaje inferior, pero la corriente continua no podía proporcionar la potencia necesaria con una larga distancia mientras que la corriente alterna sí.

Hacía 1892 los rectificadores síncronos empezaron a utilizarse para convertir CA en CD. Los rectificadores eran básicamente conmutadores que operaban en cada cambio de polaridad, proporcionando una corriente continua.

En 1893, fue construida la primera línea de transmisión de AC en Alemania, que iba desde Lauffen a Frankfurt para una exposición de electrotécnica. Está línea tenía 109 millas y operaba a 30 kV, transmitía 100 kW y fueron exhibidos alternadores de tres fases. Debido a las protestas por la inseguridad que presentaba la corriente alterna, Tesla ofreció una demostración de lo seguro de su sistema: haciéndose pasar corriente alterna por el cuerpo, para encender focos. Cuando se inauguró la Exposición Universal de Chicago en 1893, se encendieron 50,000 lámparas eléctricas utilizando el sistema inventado por él.

Los sistemas de corriente directa de Edison no podían distribuir potencia más allá de media milla del generador debido a las excesivas caídas de voltaje producidas por la resistencia de las líneas y la enorme corriente que fluía por las ellas. Los sistemas de corriente alterna, en cambio, se elevan en el generador usando transformadores, reduciendo así la corriente y las pérdidas de transmisión. El resultado es un aumento del rango de distribución de la energía eléctrica.

Uno de los miembros de la Comisión que escogió la corriente alterna de Tesla sobre la corriente continua de Edison fue el famoso físico británico Lord Kelvin, que había sido convencido al ver los resultados de la Exposición Universal de Chicago. A partir de entonces, fue adoptada la corriente alterna en todo el país y Edison tuvo que cambiar sus sistemas. Con lo que Tesla ganaba “la guerra de las corrientes”.

En octubre de 1893 la comisión de las cataratas del Niágara otorgó a Westinghouse un contrato para construir la planta generadora en las cataratas, la cual sería alimentada por los primeros dos de diez generadores de 5000 HP que Tesla diseñó. General Electric registró algunas de las patentes de Tesla y recibió un contrato para construir 35 kilómetros de líneas de transmisión hasta Buffalo. Para este proyecto se utilizó el sistema polifásico de Tesla. Los primeros tres generadores de corriente alterna en el Niágara fueron puestos en marcha el 16 de noviembre de 1896. Con el nuevo sistema trifásico grandes cantidades de energía eléctrica pudieron ser generadas y distribuidas eficientemente a grandes distancias, desde las plantas generadoras hasta las poblaciones que alimentaban. Aún en estos días se continúa utilizando la forma trifásica del sistema polifásico de Tesla para la transmisión de la electricidad, pues ha resultado ser muy efectiva para producir, transmitir y consumir energía eléctrica.

Algunas de las razones por las que la energía trifásica es superior a la monofásica son:

- La potencia en KVA de un motor trifásico es aproximadamente 150% mayor que la de un motor monofásico.
- En un sistema trifásico balanceado los conductores necesitan ser el 75% del tamaño que necesitarían para un sistema monofásico con la misma potencia en VA por lo que esto ayuda a disminuir los costos y por lo tanto a justificar el tercer cable requerido.
- La potencia proporcionada por un sistema monofásico cae tres veces por

  ciclo. La potencia proporcionada por un sistema trifásico nunca cae a cero por lo que la potencia enviada a la carga es siempre la misma.

Aún con todo lo anterior, el desarrollo de la distribución en CD continuó en paralelo. Utilizando la tecnología existente en la época (diodo en 1904, triodo en 1906 y tubo de vacío en 1910), en 1929 se inició el desarrollo de las válvulas de arco de mercurio en los procesos de transmisión y conversión de energía eléctrica para altas tensiones y potencias.

En 1930 se instalaron plantas de investigación en USA y Suecia, donde el Dr. Uno Lamm, considerado como el padre de la HVDC (High Voltaje Direct Current), se convirtió en el máximo responsable de la investigación y el desarrollo de esta tecnología. La corriente continua resultaba interesante en la transmisión de energía a grandes distancias, al no perder capacidad de transporte. En 1941 se firmó el primer contrato comercial para la construcción de un enlace de 60 MW HVDC en Alemania. Este cable debía transmitir hasta 150 A utilizando ±200 kV. El enlace estuvo preparado para funcionar en 1945, pero fue desmantelado antes de
llegar a ser conectado. En 1950 se construyó un enlace experimental de 116 km entre Moscú y Kasira a una tensión de 200 kV.

El primer sistema comercial se construyó en 1954 y unió, mediante un cable submarino de 98 km,la isla de Gotland con Suecia. Este sistema funcionaba a una tensión de 100kV y transportaba hasta 200 A (20 MW). Dos años antes, en Suecia, se ponía en marcha el que entonces fue el enlace en AC a mayor tensión del mundo (400 kV).

En 1967 se empezaron a utilizar válvulas de estado sólido (tiristores) en la transmisión en HVDC, siendo Gotland el primer enlace en utilizar esta tecnología. Se utilizaron 180 tiristores en serie. Un año más tarde, en la interconexión Cahora Bassa-Apollo se conectaron 280 tiristores en serie, batiendo 4 récords del mundo: mayor tensión (533 kV), mayor potencia (1920 MW), mayor longitud (1420 km) y el primero que instalaba las válvulas en intemperie

En el cincuenta aniversario del primer enlace HVDC (2004), la capacidad instalada en el mundo utilizando esta tecnología ascendía a más de 70.000 MW.

Finalmente podemos concluir que la guerra de las corrientes fue ganada por Westinghouse y su corriente alterna gracias a que la tecnología de la época se inclinó a favor de este tipo de energía eléctrica, sin embargo, podemos darnos cuenta que hoy en día la corriente continua ha tenido un auge mayor llegando a ser una opción muy competitiva en las líneas de transmisión.

I. 2. Desarrollo de los cables aislados y su aplicación.

El concepto de conductor eléctrico nos lleva a pensar principalmente en elementos metálicos como el cobre, el aluminio, la plata y el oro. En base a estos ha girado principalmente el funcionamiento de los sistemas eléctricos tal como son conocidos hoy en día. Los conductores eléctricos han estado íntimamente ligados a la historia y desarrollo del hombre a través del tiempo. Para entender sus orígenes, es preciso seguir de cerca la rama de la física conocida como electromagnetismo.

La historia de los conductores comienza hacia el año 600 antes de Cristo, cuando Tales de Mileto descubrió la electricidad estática al frotar un trozo de ambar, muchos años después hacia 1600 Willian Gilbert verificó que algunas sustancias se comportaban como el ámbar al ser frotadas, atrayendo objetos livianos, mientras que otras no ejercían atracción alguna, aplicando el término eléctrico a la fuerza que ejercían estas substancias una vez frotadas. Clasificó dichas substancias: llamando a las primeras cuerpos eléctricos (actualmente aislantes) y a las segundas aneléctricos (actualmente conductores).

Stephen Gray, físico inglés, estudió principalmente la conductibilidad de los cuerpos y, después de muchos experimentos, fue el primero en transmitir electricidad a través de un conductor en 1729. Experimentos que realizó junto a Jean Desaguliers. El primer intento consistió en electrificar un corcho, conectado uno de los extremos de un hilo metálico de más de 200 m de

longitud, dentro de un tubo de vidrio, electrificado por frotación. En sus experimentos también descubrieron que para que la electricidad, o los efluvios o virtud eléctrica, como ellos lo llamaron, pudiera circular por el conductor, este tenía que estar aislado de tierra. Mas adelante, junto con los científicos G. Wheler y J Godfrey, efectuó la clasificación de los materiales en eléctricamente conductores y aislantes.

A partir de las investigaciones de Gray se empezaron a utilizar los metales como conductores en la transmisión de la energía eléctrica, llegando a ser el cobre el predilecto. El primer registro, del que se tiene noticia, acerca del uso de un conductor aislado es probablemente el que hizo el Barón Schilling en 1812, en una mina bajo el Río Neva en San Petersburgo, Rusia. Utilizó un pulso eléctrico mandado a través de cable aislado con tiras de caucho de la India.

El telégrafo fue el primer dispositivo que utilizó energía eléctrica con fines comerciales, teniendo en cuenta que para su desarrollo requirió de sistemas de cables aislados.

Francis Ronalds realizó uno de los primeros experimentos con cable subterráneo en 1816; junto con el sistema de telégrafos, que consistió en 500 pies de conductores de cobre pelado instalados en gruesos tubos de vidrio sellados con cera. Los tubos fueron puestos en tierra, protegidos con madera tratado con material bituminoso. Con este experimento, Ronalds predecía que los cables subterráneos podían ser utilizados para propósitos eléctricos, vislumbrando muchas de las características de los sistemas de distribución modernos. De acuerdo a lo anterior, el primer aislante fue hecho con algodón saturado con goma laca antes de ser instalados en los tubos, después se utilizaron las tiras de caucho de la India. Estas instalaciones fueron abandonadas debido a las múltiples fallas en el aislamiento.

Posteriormente, en 1837, W.R. Cooke y Charles Wheatstone, elaboraron una línea a lo largo de la vía del ferrocarril entre las estaciones de Euston y Camden en Londres para su sistema de telegrafía. Los cables fueron aislados

con algodón saturado en resina y se instalaron en surcos separados en una pieza de madera cubierta. Por poco tiempo fue exitoso el funcionamiento de este sistema, pero al presentarse múltiples detalles fue abandonada nuevamente esta técnica.

Otro experimento para líneas de telégrafo, fue elaborado por S.F.B Morse en 1842. Utilizó cable aislado con yute, cubierto con tiras de caucho de la India. El experimento fue exitoso, por lo cual, Morse obtuvo el permiso para poner la línea entre Washington y Baltimore.

Young y Mentir fabricaron en 1845 un cable aislado con tecnología que perduró por muchos años. El aislamiento consistía en una mezcla de asfalto, brea y resina en la que se sumergía el conductor para hacerlo pasar posteriormente por un hueco circular que proporcionaba un espesor uniforme al mismo. Por último, se introducía en un tubo en el que se vertía plomo fundido para formar una cubierta metálica sobre el aislamiento.

Para 1842, se introdujo en Europa un nuevo material llamado Gutta-percha por el Dr. W. Montgomery, que fue adoptado por el gobierno Prusiano en 1846.
Este material aislante dio resultados satisfactorios en cables para telégrafo cuando fueron apropiadamente protegidos de la oxidación. Durante todo este tiempo se había utilizado caucho no vulcanizado, pero los cables tenían corta vida. Posteriormente, se comenzó a utilizar el caucho vulcanizado por primera vez en el aislamiento de cables, comprobándose que se obtenían mejores resultados. Este material fue idóneo para telégrafos, pero no para alimentadores de alumbrado eléctrico por las altas temperaturas de operación.
John A. Barret diseñó el primer cable de papel impregnado para una compañía telefónica, siendo este principio posteriormente utilizado para conductores eléctricos. En 1890, se instaló una línea aislada con papel por el Dr. Ferranti, entre Deptford y Londres para operar a 10,000 V. Estos cables consistían en dos conductores concéntricos aislados con líneas de papel separadas dispuestas helicoidalmente alrededor del conductor y saturadas con resina basada en aceite. El aislamiento de los conductores fue aplicado en una

tubería principal e instalados en una longitud de 20 pies. Este sistema fue exitoso durante 43 años.

Tiempo después los cables fueron aislados con tiras de papel saturadas con resina y cubiertas con una envoltura de plomo en Estados Unidos. El primer cable aislado de papel de 13 kV fue elaborado por la National Conduit and Cable Co., en 1897. Originalmente la mayor parte del papel usado estaba elaborado con fibra de cuerda de Manila, pero no penetraba fácilmente el aceite. Conforme fueron mejorando los conocimientos en el tratamiento químico de la madera, fue más viable utilizar pulpa de madera en el papel para los cables. El compuesto fue cambiado por un aceite mineral para 1925. El aislamiento de papel impregnado
tiene excelentes propiedades, tales como: buen dieléctrico, bajo factor de disipación y pocas pérdidas dieléctricas.

El desarrollo del polietileno en 1941 accionó un cambio dramático en el aislamiento de los cables para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. De esto surgieron dos tipos de aislamiento dieléctrico para los cables de mediana tensión:

1. Polietileno reticulado
2. Aislante de propileno

El polietileno termoplástico (PE), fue ampliamente utilizado en los años 70´s, e introducido durante la segunda guerra mundial para el aislamiento de cables subterráneos. Sin embargo; para 1976 el hecho de que el polietileno termoplástico de los cables aislados fallaba en servicio poco a poco fue abandonado como aislante.

El polietileno reticulado fue patentado en 1959 por el Dr. Frank Percopio y aplicado industrialmente en 1963.

En 1981, otro cambio significativo ocurrió con la introducción de cables “extruidos en seco”, el aislamiento de estos cables son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos.

En la actualidad los cables subterráneos se construyen principalmente con aislamientos extruidos, los más utilizados son el etileno-propileno (EP), y el polietileno de cadena cruzada vulcanizado (XLPE), además de los cables de papel impregnado.



FIGURA 3. CONDUCTOR CON AISLAMIENTO XLPE O EPR

CAPÍTULO II
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS.

II. 1. Topología de un sistema de distribución subterráneo. Estructuras fundamentales.

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

En México los usuarios contratados en media tensión son suministrados con tensiones normalizadas en 34.5 kV, 23 kV, 13.2 kV y sólo algunos en 6 kV; tensión ya fuera de norma y por tanto a punto de desaparecer en el país. El Campus Universitario aún tiene un sistema de distribución en esta tensión. Para usuarios contratados en baja tensión el suministro es proporcionado en 440 V, 220 V y 127 V. que son las tensiones normalizadas.

Los sistemas de distribución, por tanto, tienen como función principal suministrar la energía eléctrica necesaria a los consumidores y pueden ser aéreos o subterráneos. Debido a su bajo costo y facilidad de instalación, los sistemas aéreos son los más utilizados, aunque los sistemas subterráneos proporcionan mayor continuidad en el servicio y se encuentran en expansión en toda la república especialmente en las grandes ciudades como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Veracruz y en zonas de desarrollo turísticos como Acapulco, Cancún y Baja California Sur.

II. 1. 2 Ventajas de un sistema de distribución subterráneo.

Un sistema de distribución subterráneo presenta muchas ventajas frente a un sistema de distribución aéreo. Estos sistemas se utilizan principalmente en zonas urbanas que presentan grandes concentraciones de cargas, donde se justifica el costo de su construcción. La alta inversión se debe principalmente a la obra civil necesaria y que se transporta una menor cantidad de energía por unidad de sección de conductor debido a las limitantes térmicas impuestas por el aislamiento.

Las redes subterráneas presentan menos posibilidades de falla que los sistemas aéreos por la forma en que se encuentran construidos, ya que no se encuentran expuestos a fenómenos exógenos tales como lluvia, descargas atmosféricas, terremotos, etc. y por lo tanto ofrecen mayor confiabilidad.

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

Otra ventaja importante es la capacidad instalada en una subestación, ya que es mucho mayor que la de un transformador de distribución tipo poste, por lo que son útiles para alimentar grandes concentraciones de carga, industriales y habitacionales de nuestras grandes urbes. En la actualidad Ciudad Universitaria es el único centro educativo que cuenta con la red de distribución subterránea más grande del país.

II. 1. 3. Estructuras fundamentales.

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

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

II. 1. 3. 1 Clasificación de redes subterráneas por su operación.

En los sistemas de distribución subterráneos los problemas de instalación, conexión y protección de los conductores y de equipo son más complejos que en los sistemas de distribución aéreos. Por esta razón existen diseños especiales para los dispositivos empleados. Por su operación en baja y media tensión, existen dos tipos de sistemas de distribución subterránea: **radial y paralelo.**

Operación radial. Es aquel en que el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente a la carga, de tal forma, que una falla en ésta produce interrupción en el servicio. En este tipo de red la energía principal se envía a un nodo central y desde allí se divide en circuitos o subtroncales con ramificaciones en serie para suministrar servicios a clientes individuales.

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

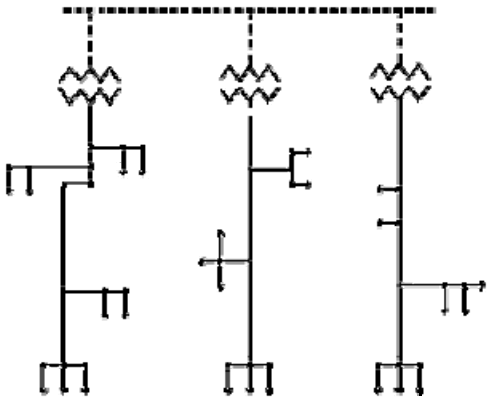


DIAGRAMA 3. RED RADIAL

Operación en paralelo. También conocido como red automática o red mallada, se compone de una rejilla en paralelo, donde el flujo de energía se divide entre varios elementos, teniendo más de una trayectoria; dada su confiabilidad se ha convertido en el estándar para los sistemas de distribución subterráneos donde existe una densidad elevada de carga. Esta estructura está en operación en grandes urbes en todo el mundo como Nueva York, Paris, Londres y Ciudad de México. La operación en paralelo se utiliza en redes de baja tensión, es una

estructura sencilla (radial o anillo) en la red primaria donde las subestaciones derivadas están conectadas en forma radial. Debido a la configuración de paralelismo, la continuidad en el servicio en la red de baja tensión está asegurada, la eliminación de fallas en los cables de la red de baja tensión se hace por autoextinción o con fusibles limitadores. En este caso el servicio del cliente no sufre falta de energía con una falla en media o baja tensión. Pensar en una estructura de este tipo para Ciudad Universitaria no es económicamente factible.

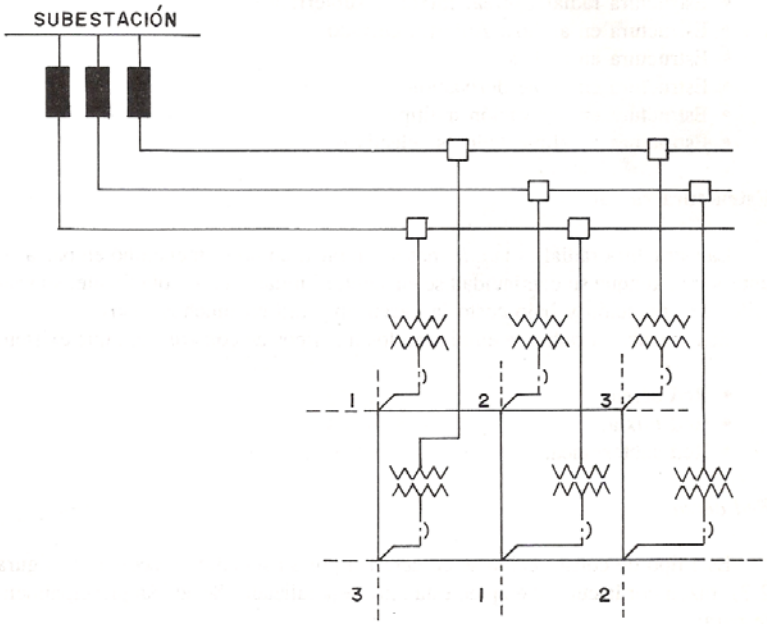


DIAGRAMA 4. RED EN PARALELO

II. 1. 4 Estructuras de media tensión para redes subterráneas.

En media tensión existen diversas estructuras que se emplean actualmente en los sistemas de distribución subterráneos:

Estructura radial. Es la más utilizada debido a su bajo costo, aunque su continuidad se encuentra limitada a una sola fuente, por su sencillez de operación y bajo costo. Se constituye por cables troncales, que salen de la subestación eléctrica y cables subtroncales que ligan a los anteriores. Se recomienda utilizar este tipo de estructura en zonas extendidas con altas densidades de carga, 15 a 20 MVA/km^2, y fuertes tendencias de crecimiento.

Operación normal. Cada alimentador lleva una carga C, operando normalmente abiertos los elementos de seccionamiento de la estructura. En caso de falla, los alimentadores deben soportar la carga adicional necesaria de acuerdo a la capacidad del equipo y del cable. Esta estructura fue la que se seleccionó en los años cincuenta en el diseño de la red para la Ciudad Universitaria.

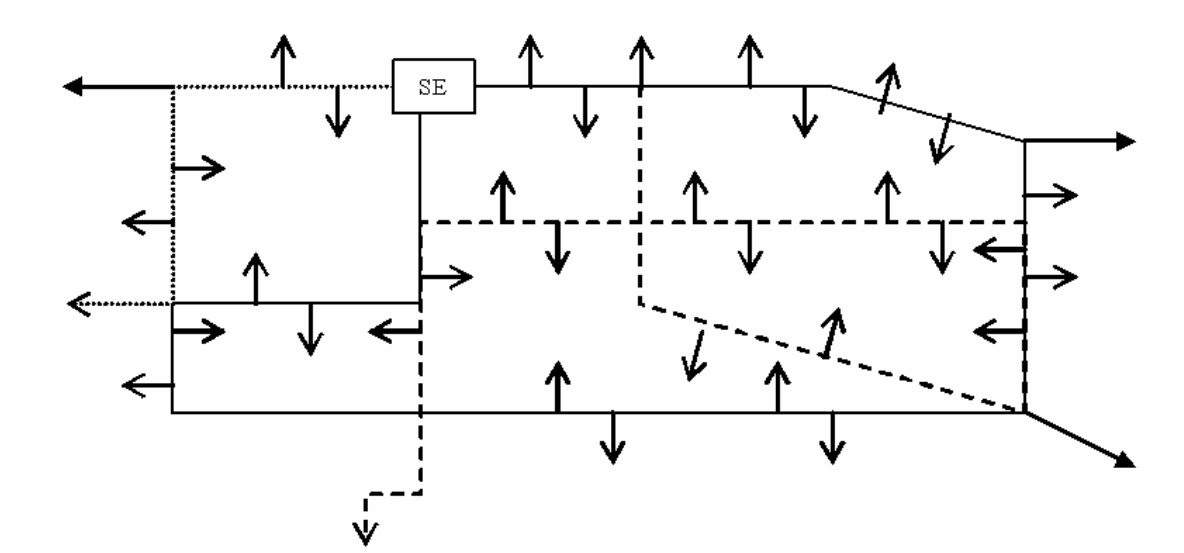


DIAGRAMA 5. SECCIONAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA RADIAL

Estructura en anillo.

- **Anillo abierto.** Está constituido por bucles de igual sección, derivados de la subestación fuente. Se recomienda en zonas con densidades de carga entre 5 y 15 MVA/km^2, donde el aumento de carga es nulo o muy pequeño.

  Operación normal. Estas estructuras operan abiertas en un punto, generalmente es un punto intermedio. En caso de falla dentro de algún anillo de secciona el tramo dañado y se repara. El seccionamiento se lleva a cabo mediante una serie de maniobras de los elementos de desconexión instalados en la subtroncal.

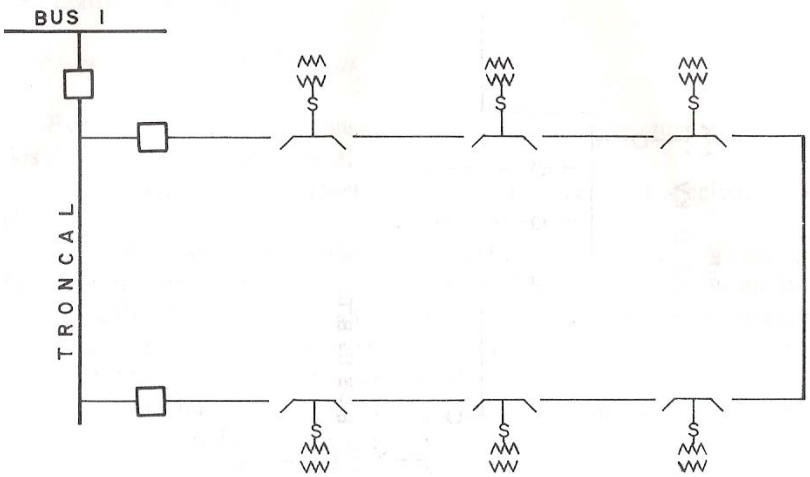


DIAGRAMA 6. RED EN ANILLO CON UNA SOLA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Anillo cerrado. Es igual que el anterior, con la variación de que en operación normal no existe un punto abierto. Se utiliza en zonas en desarrollo y expansión debido a su facilidad para incrementar la capacidad instalada sin modificar la estructura fundamental.

Las ventajas que proporciona esta configuración son un factor de utilización mayor del 60% y mejor control del nivel de cortocircuito. Este diseño se emplea actualmente en muchos países europeos.

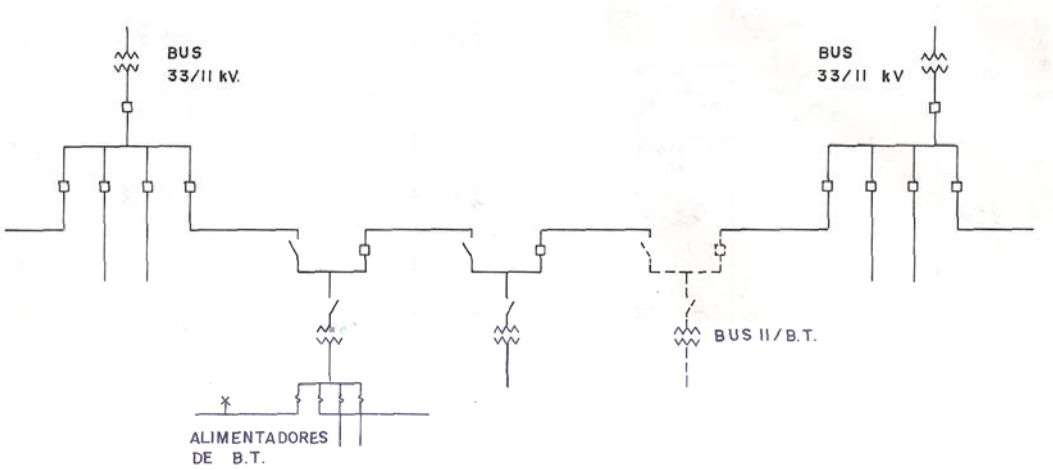


DIAGRAMA 7. RED EN ANILLO CERRADO

Estructura en mallas. En este caso las subestaciones de distribución se encuentran conectadas en seccionamiento y constituyen anillos de igual sección, que operan en forma radial. Se recomienda en zonas de crecimiento acelerado y de cargas no puntuales, como zonas comerciales con densidades superiores a 20 MVA/km^2, debido a su posibilidad de expansión y reparto de carga.

Operación normal. En el anillo funciona normalmente abierto en uno de los equipos de seccionamiento de la subestación. Para prevenir fallas existen ligas entre los anillos para asegurar alimentación de emergencia, y en caso de falla se hacen maniobras entre grupos de subestaciones.

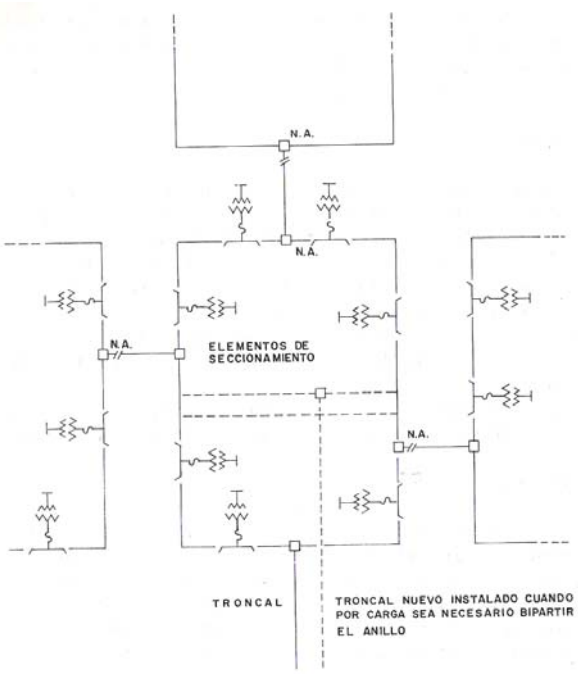


DIAGRAMA 8. ESTRUCTURA EN MALLA

Estructura en doble derivación. En esto tipo de estructura los cables se encuentran dispuestos en pares, con secciones uniformes para cables troncales. La subestación y los servicios quedan alimentados en derivación. Se recomienda utilizarla en zonas industriales, comerciales o turísticas de configuración extendida, donde la continuidad del servicio es elevada y existen características de carga y geometría concentradas.

Operación normal. Funciona con alimentadores preferentes y emergentes con trasferencias manuales o automáticas, bajo el principio de cambio de alimentación. Para análisis, se tienen dos posibilidades:

- Haciendo trabajar el alimentador emergente sin carga. Su desventaja es que mientras un circuito trabaja el mínimo, el otro está trabajando al máximo de su capacidad.
- Haciendo trabajar el alimentador emergente con la mitad de la carga total.

En este caso los dos alimentadores trabajan en condiciones iguales. Se deben tomar en cuenta dos normas fundamentales en el diseño de este tipo de estructura:

I. El equipo de transferencia debe tener un mecanismo que impida la operación en paralelo de los dos alimentadores.

II. Es convenientes instalar los circuitos en rutas diferentes para garantizar mayor confiabilidad.

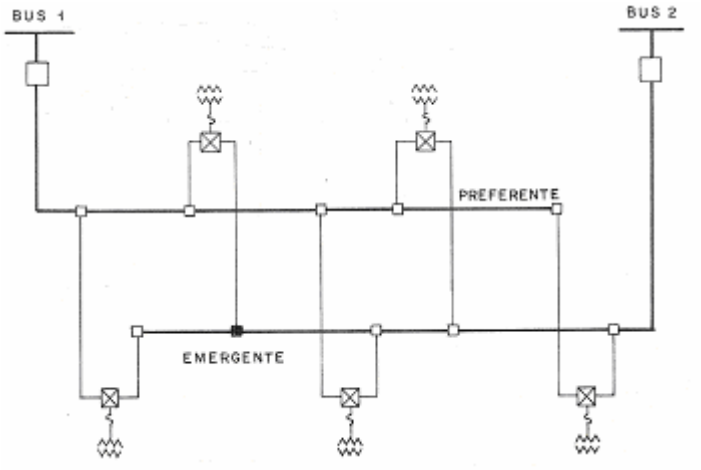


DIAGRAMA 9. ESTRUCTURA EN DOBLE DERIVACIÓN

Estructura de alimentadores selectivos. Constituida por cables troncales de los cuales se derivan ramales de menor sección que enlazan a los troncales bajo el principio de doble alimentación. Los cables troncales provienen de subestaciones diferentes que llegan hasta la zona por alimentar. Las subestaciones o transformadores de distribución se reparten entre parejas de alimentadores troncales que quedan conectadas en seccionamiento. Se recomienda para zonas donde las construcciones existentes están siendo sustituidas por edificaciones que representan grandes concentraciones de carga y que requieren de un alto grado de confiabilidad, es decir, para zonas de rápido crecimiento y densidad mayor a 15 MVA/km^2.

Operación normal. Las subestaciones se alimentan de las subtroncales en un punto normalmente abierto de la misma subtroncal, permitiendo balancear la carga en cada una de éstas. En caso de falla los dispositivos de seccionamiento permiten efectuar movimientos de carga transfiriendo las subestaciones al alimentador troncal adyacente.

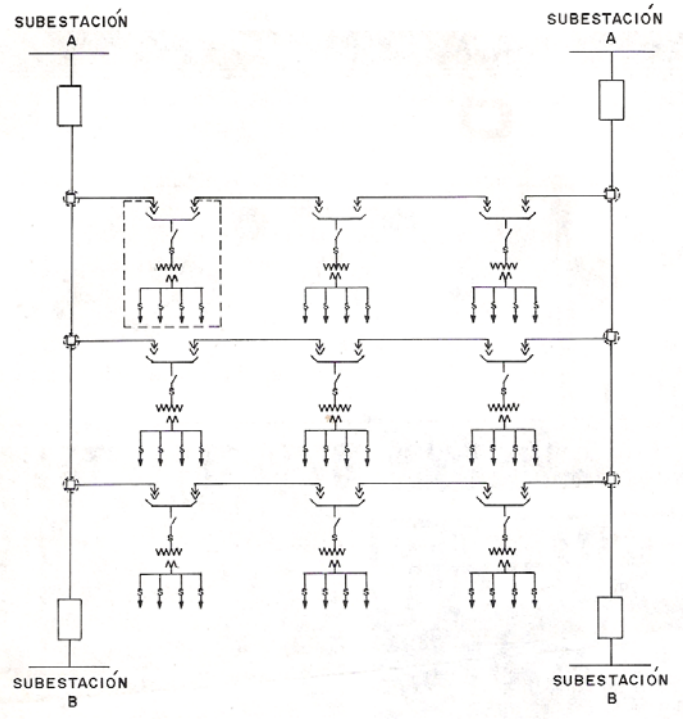


DIAGRAMA 11. ESTRUCTURA DE ALIMENTADORES SELECTIVOS

II. 2. Características de diseño.

Como se ha descrito anteriormente las redes subterráneas han demostrado a través de los años su mejor desempeño en comparación con las redes de distribución aéreas, por lo que su empleo se ha extendido en las zonas urbanas de alta densidad de carga, tal como el Campus Universitario. Dichas ventajas son la confiabilidad del servicio y la seguridad de las instalaciones que se traduce en estética para el medio. Una desventaja notable es que el costo de las instalaciones se incrementa y que el personal encargado de construir y operar estas redes debe estar mucho más especializado. Los objetivos principales que se pretende alcanzar en el diseño de un sistema de distribución subterráneo, son los siguientes:

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

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

❖ **Economía:** Minimizando las complicaciones de la instalación y maximizando su confiabilidad, el costo de los dispositivos usados para sistemas subterráneos pueden reducirse. Dentro de estos conceptos deberá considerarse la NO diversidad de tipos de equipos, como transformadores de diferentes capacidades, equipos de seccionamiento con características de operación diferentes, etc.

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

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

Estas cinco características deberán considerarse en el diseño de la nueva red subterránea del Campus Universitario en 23, 000 Volts.

II. 3 Equipo de un sistema de distribución subterráneo.

A continuación se enlistan las principales componentes de una red de distribución y sus características generales.

SUBESTACIONES. Una subestación eléctrica es un conjunto de dispositivos, máquinas, aparatos y circuitos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia. Tiene como función modificar los parámetros de la potencia eléctrica, tensión y corriente, además de proveer un medio de interconexión que permite el suministro de !a energía al sistema y líneas de transmisión existentes.

Las subestaciones eléctricas se pueden clasificar de acuerdo a su tensión, su instalación o su construcción.

- Por su tensión.

Elevadoras:

Empleadas en transmisión eléctrica a niveles de tensión mayores a 230kV.

Receptoras:

Empleadas en subtransmisión eléctrica en tensiones comprendidas entre los 115kV y 230kV

Distribución Primaria (enlace)

Para servicios cuyas tensiones de operación comprenden los 23kV a los 115kV.

Distribución secundaria

Subestaciones que operan a tensiones menores a 23kV.

- Por su Instalación.

Intemperie

Son las que se encuentran al aire libre sometidas a condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve, contaminación e inclemencias atmosféricas diversas), generalmente se usan para sistemas de alta y extra alta tensión.

Interior

Se instalan en el interior de inmuebles, por lo que, no se encuentran sometidas a condiciones atmosféricas adversas. Este tipo de subestaciones ocupa poco espacio y operan con potencias relativamente bajas.

Blindada

Se emplean en instalaciones de altos riegos como son las áreas peligrosas; en estas subestaciones los aparatos y las máquinas se encuentran muy protegidos y el espacio necesario es muy reducido.

- Por su construcción.

Abiertas

Cuentan con equipos y dispositivos a la interperie. Dentro de este tipo se encuentran algunas subestaciones eléctricas receptoras como las de tipo poste y las de tipo azotea comúnmente empleadas en México.

Compactas o blindadas

Están contenidas dentro de un gabinete tipo metálico fabricado de lámina calibre 12 o mayores que permite el resguardo de los elementos y pueden ser tipo interior o intemperie.

Tipo pedestal

Son llamadas tipo jardín y su diseño se basa en que un mismo tanque aloja los devanados del transformador y los dispositivos de seccionamiento y protección.

Encapsuladas

Utilizan como medio aislante el hexafloruro de azufre (SF6) o algún otro aislante no flamable y emplean interruptores con capacidad nominal superior a 200A.

Tipo bóveda

Se instalan dentro de un recinto subterráneo con equipos y elementos tipo sumergible, a prueba de inundaciones. Su campo de aplicación se encuentra en zonas de distribución subterránea o zonas de alta densidad de carga como el Campus Universitario de la UNAM.

Como la subestación es un conjunto de elementos es importante conocer los principales componentes que la constituyen, así como la función que desempeñan dentro de los sistemas con el objeto de analizar con mayor propiedad las características más importantes para una aplicación especifica; como su mantenimiento. Los elementos que la componen son:

Transformador. Es el equipo más importante de una subestación eléctrica por la función que representa al transferir la energía eléctrica de un circuito

a otro; con diferentes tensiones, es decir este equipo permite acoplar magnéticamente los dos circuitos.

II. 3. 1 Transformadores de distribución.

Su función principal es reducir tensión en un circuito de media tensión para los usuarios. Normalmente son utilizados para reducir tensión de 23 kV a 127 V de fase a neutro y 220 V entre líneas. Las capacidades normalizadas de este tipo de transformadores generalmente es de 45, 75, 112.5, 225, 500, 750 y 1000 kVA.

- **Transformador trifásico tipo sumergible para distribución comercial**.



FIGURA 4. TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO SUMERGIBLE PARA DISTRIBUCIÓN COMERCIAL

- **Descripción**: transformador trifásico tipo sumergible para operación en anillo, conexión en Media Tensión. En baja tensión 220/127 Volts, estando ambas conectadas en estrella – estrella aterrizada, con 4 derivaciones 2 arriba y 2 abajo del voltaje nominal, con 2.5 % cada una, 60 Hz, con enfriamiento natural en aceite con fusible en Media Tensión, con seccionadores en anillo y radial.

- **Transformador trifásico tipo pedestal para distribución residencial**



FIGURA 5. TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO PEDESTAL PARA DISTRIBUCIÓN RESIDENCIAL

- **Descripción:** Transformador trifásico tipo pedestal para operación en anillo, conexión en Media tensión estrella – estrella aterrizada. Conexión en baja tensión 220 / 127 volts, con 4 derivaciones 2 arriba y 2 abajo del voltaje nominal, con 2.5 % cada una, 60 Hz, con enfriamiento natural en aceite con fusibles en Media Tensión, con seccionador en anillo, con o sin interruptor termo magnético en baja tensión.

➢ **Transformador trifásico tipo pedestal para distribución comercial**



FIGURA 6. TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO PEDESTAL PARA DISTRIBUCIÓN COMERCIAL

- **Descripción:** Transformador trifásico tipo pedestal para operación en anillo. En Baja Tensión 220 / 127 volts, estando ambas conectadas en estrella – estrella aterrizada, con 4 derivadores 2 arriba y 2 abajo del voltaje nominal, con 2.5 % cada una, 60 Hz, con enfriamiento natural en aceite con fusibles en Media Tensión, con seccionadores en anillo y radial.

➢ **Transformador monofásico tipo sumergible para distribución residencial**



FIGURA 7. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO TIPO SUMERGIBLE PARA DISTRIBUCIÓN RESIDENCIAL.

- **Descripción:** Transformador monofásico tipo sumergible para operación en anillo, Conexión en Media Tensión, conexión en Baja Tensión 240/120 V, con 4 derivaciones 2 arriba y 2 debajo de voltaje nominal, con 2.5% cada una, 60 Hz, con enfriamiento natural en aceite con fusibles internos en Media Tensión, con o sin interruptor termomagnético en Baja Tensión.

- **Transformador monofásico tipo pedestal para distribución residencial**



FIGURA 8. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO TIPO PEDESTAL PARA DISTRIBUCIÓN RESIDENCIAL

- **Descripción:** transformador monofásico tipo pedestal para operación en anillo, conexión en Media tensión, conexión en Baja Tensión 240/120 V, con 4 derivaciones 2 arriba y 2 debajo de voltaje nominal, con 2.5% cada una, 60 Hz, con enfriamiento natural en aceite con fusibles internos en Media Tensión, con o sin interruptor termomagnético en Baja Tensión.

Interruptor. Su función es desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal y corto circuito, es decir, en condiciones normales o anormales de operación.

Cuchillas. Son dispositivos de maniobra capaces de interrumpir en forma visible la continuidad de un circuito, pueden ser maniobrables bajo tensión pero en general sin corriente ya que no tienen capacidad interruptiva.

Transformadores de potencial. Se emplean para medición y/o protección, su nombre se debe a que la cantidad principal por variar es la tensión, permiten reducir una tensión de un valor que puede ser muy alto a un valor bajo utilizado por los instrumentos de medición o protección.

Transformador de corriente. Su función principal es transformar o cambiar un valor de corriente en un circuito a otro que permita la alimentación de instrumentos, que por lo general son de 5 A, debiendo tener el aislamiento requerido para cada caso.

Banco de baterías. Es una fuente de almacenamiento de energía que puede entregarla o absorberla del sistema eléctrico de potencia, siendo un sistema eléctrico de respaldo que permite asegurar el funcionamiento de la SE en caso de la falla de energía.

Fusible. Es un elemento reservado para la interrupción instantánea del circuito que protege cuando se presentan condiciones anormales en el circuito. Esta interrupción se obtiene de la fusión del elemento fusible que representa la parte fundamental que determina sus características.

Equipo de Protección. Es el conjunto de sistemas de vigilancia permanente, cuya función es eliminar o disminuir los daños que puede tener un equipo eléctrico cuando se presenta una falla. La parte importante de este sistema son los relevadores que sirven para detectar la falla y que a su vez, efectúan la desconexión automática de los interruptores cuando se producen

sobrecorrientes debidas a cortos circuitos, que aíslan las partes del sistema que han fallado.

Interruptor. Su función es desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal, cortocircuito, es decir, en condiciones normales o anormales de operación.

II. 3. 2 Dispositivos de seccionamiento.

Seccionador. Interruptor electromecánico con control electrónico. Permite conectar hasta cuatro circuitos de cables de baja tensión y efectuar combinaciones para transferir la trayectoria del potencial según lo requerido. Hace posible que una falla pueda ser aislada o seccionada a una pequeña parte del alimentador donde éste fue instalado, afectando al menor número posible de usuarios. Se utilizan como equipo de protección contra sobre-corrientes, aumentando los niveles de confiabilidad en el servicio.

- **Seccionador de transferencia automática tipo pedestal**



FIGURA 9. SECCIONADOR DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA TIPO PEDESTAL

- **Descripción:** seccionador trifásico de transferencia automática tipo pedestal de operación y reestablecimiento automático.

- **Seccionador tipo sumergible**



FIGURA 10. SECCIONADOR TIPO SUMERGIBLE

- **Descripción:** Seccionador tipo sumergible 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.

➢ **Seccionador tipo pedestal**

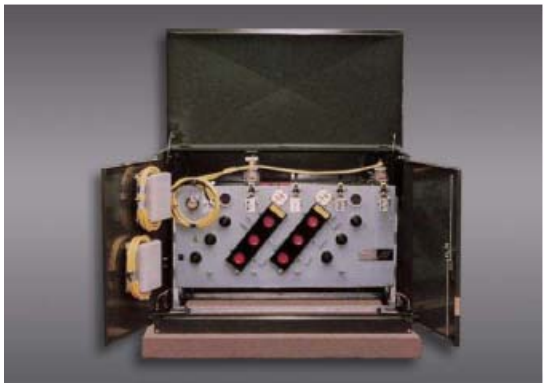


FIGURA 11. SECCIONADOR TIPO PEDESTAL

- **Descripción:** 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.

II. 3. 3 Elementos de acoplamiento y elementos de protección.

➢ **Terminal tipo termoretráctil MT**

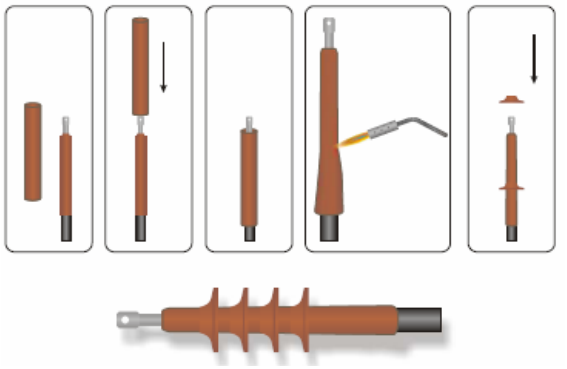


FIGURA 12. TERMINAL TIPO TERMORETRÁCTIL MT

- **Descripción:** Terminal tipo termoretráctil para cables de energía de calibre B AWG., aplicable en zonas de alta contaminación o normal. Alivia el esfuerzo del campo eléctrico en el cable. Se usa en Media Tensión cables, en instalaciones interior y exterior.

➢ **Terminal premoldeada MT**

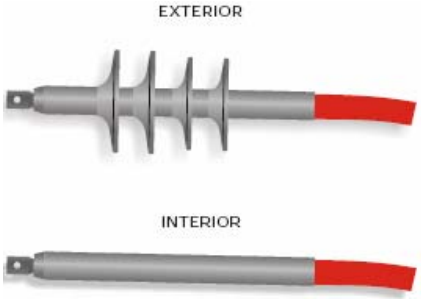


FIGURA 13. TERMINAL PREMOLDEADA MT

- **Descripción:** Terminal MT premoldeada, para cables de energía calibre B AWG (KCM). Incorpora compuestos para el sello superior y el alivio de esfuerzos, resistente a los rayos UV, campana integrada o por integrar al cuerpo. Se usa para terminar cables de Media tensión en instalaciones interior y exterior.

➢ **Terminal Contráctil en Frío MT**

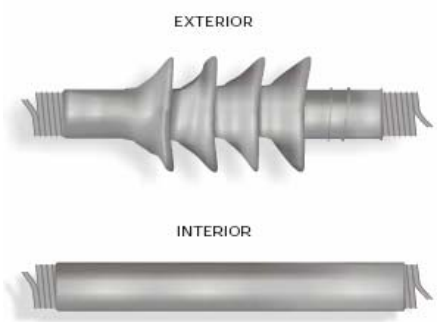


FIGURA 14. TERMINAL CONTRÁCTIL EN FRÍO MT

- **Descripción:** Terminal de MT tipo contráctil en frío para cables de energía calibre B AWG (KCM). Material de hule silicón, con control de esfuerzos de alta constante dieléctrica. Incorpora compuestos para el sello superior y el alivio de esfuerzos, resistente a los rayos UV, campanas integradas al cuerpo. Se usa para terminar cables de Media tensión en instalaciones interior y exterior.

➢ **Fusible LC de rango parcial**



FIGURA 15. FUSIBLE LC DE RANGO PARCIAL

- **Descripción:** Fusible LC limitador de corriente de arena – plata, de rango parcial, Se usa para protección de transformadores de distribución residencial subterránea, para instalarse dentro de los mismos, sumergidos en aceite.

➢ **Fusible LC de rango completo**



FIGURA 16. FUSIBLE LC DE RANGO COMPLETO

- **Descripción:** Fusible LC limitador de corriente de arena – plata, de rango completo, se usa para protección de transformadores de

distribución instalados en el interior de los transformadores y seccionadores.

II. 3. 4 Alimentadores primarios.

Son líneas de distribución subterránea, encargadas de llevar la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hasta los consumidores. Estos circuitos se encuentran constituidos por cables troncales que salen en forma radial de la subestación y por cables transversales, llamados ramales, que ligan a las troncales Generalmente operan en forma radial, aunque pueden operar en configuración anillo normalmente abierto alimentando cargas de diferentes subestaciones. Estos alimentadores se llevan en canalizaciones de concreto, ductos de PVC o pueden ir directamente enterrados.

CAPITULO III
CABLES SUBTERRÁNEOS.

Cualquier material esta compuesto de muchos átomos dispuestos de una manera específica de acuerdo al elemento del que se trate. Algunos materiales, principalmente los metales, tienen un gran número de electrones libres que pueden moverse a través del mismo. Estos materiales tienen la facilidad de transmitir energía eléctrica de un punto a otro y se llaman conductores.

Un cable de energía, subterráneo o aéreo, está formado por un grupo de conductores cableados dispuestos de diferentes formas, algunos rodeados con pantallas y cubiertas aislantes para transmitir altas tensiones y corrientes. Su función principal, es transportar energía eléctrica desde las fuentes de generación hasta los puntos de consumo, donde puede ser transformada para su utilización.

En zonas urbanas de gran densidad no es conveniente tender líneas aéreas de alta y media tensión por el peligro que pueden representar para los habitantes y por el deplorable efecto estético producido por las líneas y postes cuando son numerosos. Esta es una de las razones por lo que la distribución de energía eléctrica en estas zonas, la mayoría de las ocasiones, es subterránea en media tensión, misma justificación que utilizaron los ingenieros universitarios para planear desde 1954 una red subterránea para el campus de CU. En la actualidad el descubrimiento de nuevos materiales aislantes, económicos y con buenas propiedades eléctricas, ha provocado un aumento notable en el tendido de circuitos eléctricos subterráneos.

Los cables de energía subterráneos deben contar con características específicas para su correcto y óptimo funcionamiento debido a las condiciones a las que son sometidos (humedad, corrosión, contaminación, calentamiento, daños mecánicos, etc.) así como para asegurar el máximo de confiabilidad, ya que una falla en este tipo de cables es difícil de detectar y reparar debido al complicado acceso a las instalaciones subterráneas.

III. 1 Constitución de los cables subterráneos.

Los elementos que componen los cables subterráneos de media tensión, en general, son los que se muestran en la figura siguiente y se mencionan a continuación:

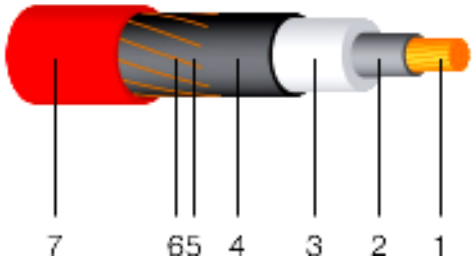


FIGURA 17. SECCIÓN DE UN CABLE SUBTERRÁNEO DE ENERGÌA

Donde las partes que lo constituyen son las siguientes:

1. Conductor.
2. Pantalla semiconductora sobre el conductor.
3. Aislamiento.
4. Pantalla semiconductora sobre aislamiento.
5. Pantalla metálica.
6. Cinta separadora.
7. Cubierta exterior.

Ahora haremos una descripción de cada una de las partes del los cables subterráneos de energía:

1. CONDUCTOR. Constituye la parte central del cable y es la destinada a conducir la corriente eléctrica. Existen cuatro características principales que distinguen a un conductor de otro:

a. Material.
b. Flexibilidad.
c. Forma.
d. Dimensión.

a. Material. Los materiales preferidos como conductores son el cobre y el aluminio debido a su alta conductividad. El cobre tiene ventajas eléctricas y

mecánicas sobre el aluminio, ya que la conductividad del aluminio es el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%. Sin embargo, la principal ventaja del aluminio es su peso, pues tiene una densidad de 2.70 g/cm^3 contra 8.89 g/cm^3 del cobre, por lo cual el aluminio es muy utilizado en líneas aéreas. A continuación se muestra una tabla donde se comparan algunas de las características más importantes en conductores fabricados con cobre y aluminio:

Características	Cobre	Aluminio
Para igual volumen:		
relación de pesos	1.0	0.30
Para igual conductancia:		
relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
Para igual ampacidad:		
relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
Para igual diámetro:		
relación de resistencias	1.0	1.61
capacidad de corriente	1.0	0.78

TABLA 1. COMPARACIÒN DE CARACTERÌSTICAS ENTRE COBRE Y ALUMINIO. CONDUMEX

Por lo anterior, en la actualidad se puede concluir que para redes subterráneas es más conveniente utilizar cobre como conductor, ya que para la misma capacidad de conducción de corriente, el área del aluminio es mucho mayor. Sin embargo; en algunos países de Europa y América existen redes subterráneas con cables de aluminio debido a que su costo es menor que el de un cable de cobre. En nuestro país la mayor parte de las redes son construidas con cable de cobre incluyendo la de la CU.

b. Flexibilidad. Depende de dos factores principalmente: del temple del material y del cableado. El temple o grado de suavidad de un metal consiste en el recocido de este para suavizarlo. En el cobre usado para fabricar conductores eléctricos se tienen tres temples o grados de suavidad del metal.

Los conductores se encuentran constituidos por hilos o alambres, denominados también cuerdas, a esto se le conoce como cableado y da lugar a diferentes flexibilidades, de acuerdo al número de hilos que lo integran, a la longitud del torcido y al tipo de cuerda. El grado de flexibilidad de un conductor se puede dar en función del número de hilos, y se designa mediante letras, siendo las primeras letras del abecedario para los cableados más rígidos. Una clasificación general es la siguiente:

- Rígidos. Cableado clases A y AA
- Semiflexibles. Abarca desde la clase B hasta la H.
- Flexibles. A partir del cableado clase I, en adelante.

En la tabla siguiente se proporcionan los tipos de cableado y recomendaciones de uso.

Clase	Aplicación	Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas.	I	Cables para aparatos especiales.
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA.	J	Cordones para artefactos eléctricos.
B	Cable aislado con materiales diversos tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requieran mayor flexibilidad.	K	Cables portátiles y para soldadoras.
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la de la clase B.	L	Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que los de las clases anteriores.
G	Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares.	M	Cables para soldadoras (portaelectrodos), para calentadores y para lámparas.
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y tengan que pasar sobre poleas.	O	Cordones pequeños para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores.
		P	Cordones más flexibles que en las clases anteriores.
		Q	Cordón para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima.

TABLA 2. CLASES DE CABLEADO. CONDUMEX

De acuerdo a lo anterior podemos decir que el temple del cobre más favorable es el suave, pues ofrece la máxima conductividad y una gran flexibilidad
y que la clase de cableado adecuada en conductores subterráneos de media tensión es la clase B y en ocasiones la C o D.

c. Forma. Las formas de un conductor de uso general de cables aislados de media tensión son dos:

- Redonda. Alambres con sección transversal circular.
- Sectorial. Alambres cuya sección transversal es un sector de círculo.

Cuando los cables son de diámetros pequeños suelen ser de un solo hilo redondo y se les llama ‘conductor sólido’, mientras que para diámetros mayores se construyen cableados. El torcido de los cables se efectúa, en la mayoría de los casos, en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de uno o más alambres. Esta forma de cable es conocida como ‘cable concéntrico’ y se usa en las clases AA, A, B, C y D.

En ocasiones es necesario disminuir el diámetro de un cable concéntrico y obtener una superficie cilíndrica uniforme con el fin de mejorar sus características eléctricas. Esto se logra usando conductores sectoriales alrededor de uno redondo, obteniendo el cable redondo compacto.

También se fabrican ‘cables sectoriales’, que se componen de conductores sectoriales formando un cable con sección transversal en forma de sector circular, se emplean en cables de energía trifásicos reduciendo cantidad de rellenos y diámetro.
Comparando los conductores sectoriales tienen menor diámetro, menor peso y un costo más bajo que los conductores redondos, sin embargo los redondos tienen la ventaja de tener mayor flexibilidad y una menor dificultad para hacer los empalmes.
En la figura podemos ver una representación de cada una de las formas de cables mencionadas.

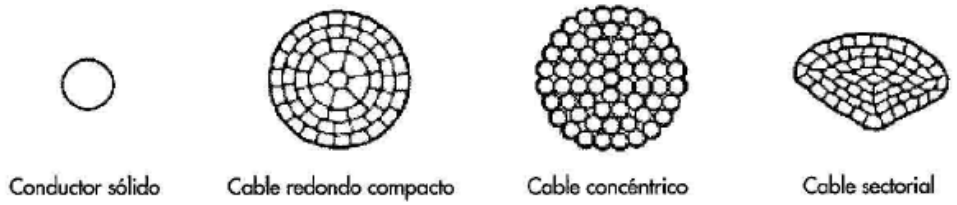


FIGURA 18 . FORMAS DE CONDUCTORES

d. Dimensión. Al área transversal de un conductor se le denomina calibre. Existen múltiples escalas para designar los calibres de los conductores eléctricos, la más utilizada en Estados Unidos y México es la AWG (American Wire Gauge), también conocida como la "Brown and Sharpe Gage". Esta escala fue ideada por J.R. Brown y tienen la propiedad de que sus dimensiones representan con aproximación los pasos sucesivos del proceso de estirado de los conductores. Los calibres del AWG están relacionados con una ley matemática, se formó fijando un diámetro máximo igual a 0.4600 pulgadas (calibre 4/0) y un diámetro mínimo de 0.0050 pulgadas (calibre 36) estableciendo 39 dimensiones o calibres entre estos, por lo tanto, la razón entre un diámetro y el siguiente es:

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[39]{92} = 1.1229$$

Los calibres van del 36 al 2 y 1/0 al 4/0. Para conductores de mayor calibre se emplean los Circular Mil (CM), unidad que representa el área de un círculo de una milésima de pulgada de diámetro, esto es 0.7854 milésimas de pulgada, para secciones mayores se usan los kCM (kilo Circular Mil), antes MCM (Mil Circular Mil), que equivale a 0.7854 pulgadas. Usualmente se usan calibres desde 250kCM hasta 1000kCM en incrementos de 50.

Otra escala muy empleada es la escala milimétrica o IEC (Internacional Electrotechnical Commission) y consiste en proporcionar la medida del área transversal del conductor en mm^2. La relación entre estas escalas es de: $1mm^2$=1.973525kCM

La elección de la sección del cable a utilizar se realiza calculando:

- Intensidad de corriente que circula por el conductor.
- Intensidad del corto circuito a que está sometido el conductor.
- Caída de tensión en el conductor.

2. PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR. Cuando se aplica una tensión entre un conductor y el plano de tierra o entre dos conductores, el dieléctrico intermedio es sometido a esfuerzos eléctricos. Si estos esfuerzos no son controlados pueden producir deterioro del dieléctrico y otros efectos indeseables, el control se logra utilizando las pantallas eléctricas.

Se usa pantalla semiconductora sobre el conductor para tensiones mayores de 2kV y se coloca inmediatamente sobre el conductor o conjunto de conductores, también se conoce como 'cintura'. Cumple con dos funciones, por un lado impide la ionización del aire, que en otro caso se 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. Al colocar la pantalla se tiene una superficie uniforme. Lo anterior está representado en la siguiente figura:

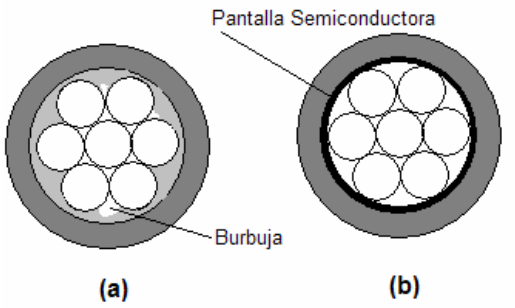


FIGURA 19. (a) CONDUCTOR CON AISLAMIENTO DIRECTAMENTE EXTRUIDO SOBRE EL CONDUCTOR. (b) CONDUCTOR CON PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR.

Por otro lado, la pantalla semiconductora sobre el conductor uniforma el gradiente eléctrico en la superficie del conductor, eliminando las distorsiones del campo eléctrico debidas a las protuberancias constituidas por los hilos de la capa exterior. La pantalla forma una superficie equipotencial uniforme, a la que las líneas de fuerza del campo eléctrico son perpendiculares. Esto se muestra gráficamente en la figura.

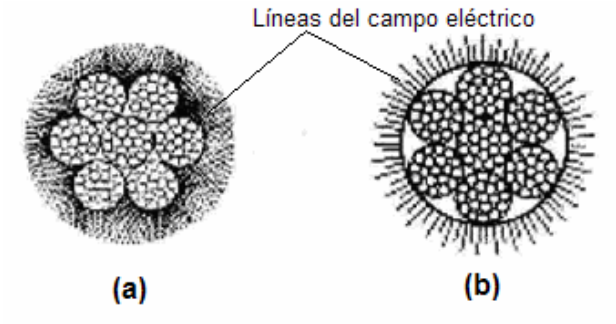


FIGURA 20. (a) CONDUCTOR SIN PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR.
(b) CONDUCTOR CON PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR.

Además la pantalla sobre el conductor sirve como elemento de separación entre el aislamiento y el conductor, ya que en cables con aislamiento de papel impregnado, el impregnante en contacto con el cobre produce compuestos químicos conocidos como jabones metálicos que degradan el dieléctrico. Las pantallas utilizadas en este tipo de cables son cintas de papel CB (Carbon Black) y evitan la formación de los jabones metálicos. En cables con aislamiento sólido se usan pantallas extruidas de un material compatible con el aislamiento.

3. AISLAMIENTO. Es un material dieléctrico que se coloca alrededor de la pantalla semiconductora 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. Existe gran variedad de materiales empleados para el aislamiento de los cables subterráneos los cuales se seleccionan teniendo en cuenta características eléctricas, condiciones mecánicas, químicas y económicas. Los aislamientos se dividen en dos grupos principales:

- Aislamientos de papel impregnado.
- Aislamientos de tipo seco.

Aislamientos de papel impregnado.

Se emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera con celulosa de fibra larga. El cable aislado con papel sin humedad, se impregna con una

sustancia que mejora las características dieléctricas del aislante, ocupa todos los huecos eliminando las burbujas de aire en el papel. Las sustancias más utilizadas son:

- Aceite Viscoso.
- Aceite Viscoso con resinas refinadas.
- Aceite Viscoso con polímeros de hidrocarburos.
- Aceite de baja viscosidad.
- Parafinas microcristalinas del petróleo.

Este tipo de cable fue seleccionado para construir le red de distribución de C.U.

Aislamientos de tipo seco

Los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtienen de la polimerización de determinados hidrocarburos, a excepción del hule natural que ya esta en desuso. De acuerdo a su respuesta al calor se clasifican en:

- Termoplásticos: Son aquellos que la calentarse, permiten darles forma, recuperando sus propiedades iniciales al enfriarse. Por ejemplo el cloruro de polivinilo (PVC), el polipropileno, el polietileno clorado (CPE) y el nylon.

- Termofijos: Después de calentarlos y darles forma, los subsecuentes calentamientos no los reblandecen. Entre estos materiales tenemos hule etileno-propileno (EP), el polietileno de cadena cruzada vulcanizado (XLPE), el silicón y el polietileno clorosulfonado (Hypalon).

Las propiedades de los aislamientos son afectadas por las condiciones de operación, el medio ambiente, el envejecimiento y otros factores, por lo que es importante seleccionar un aislamiento adecuado. A continuación tenemos una tabla en la que se muestra una comparativa de las propiedades de diversos materiales utilizados como aislantes en los conductores.

Propiedades	Termoplásticos									Termofijos				
	PVC			Polipro-pileno	Polietileno			TPR	Nylon	XLPE	CPE	Hypa-lon	Silicón	EP
	S-R	F-C	S-F		BD	Ce	AD							
Resistencia oxidación	M	M	M	M	M	M	M	M-E	M	---	M-E	M	M	E
Resistencia de calor	B-M	B-M	B-M	M	B	B	M	B-M	M	M	M-E	M	E	E
Resistencia aceite	S	S	S	S	B	B	M	P-B	M	B-M	M	B	B-M	P-S
Flexibilidad a baja temperatura	S	B	B	P	B	M	M	M-E	B	---	B-M	S	E	E
Resistencia intemperie	S-B	B-M	S-B	M	M	M	M	B-M	M	---	B-E	M	E	E
Resistencia ozono	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M-E	M	E	E
Resistencia abrasión	B-M	S-B	B	S-B	B	S	M	S-M	M-E	M	---	B	P	P
Propiedades eléctricas	B	S-B	B	M	M	M	M	M	P	E	B	B	E	M
Resistencia flama	S	B-M	B	P	P	P	P	P	P	S-B	B	B	B-M	P-S
Resistencia radiación nuclear	B	B	B	S	B	B	B	---	S-B	---	---	B	M	E
Resistencia agua	M	M	M	M	M	M	M	B	P-S	M	M-E	B-M	B-M	E-M
Resistencia acidos	B-M	B-M	B-M	M	M	M	M	---	P-S	B-M	E	M	S-B	P-S
Resistencia alcalis	B-M	B-M	B-M	M	M	M	M	---	M	B-M	E	M	S-B	P-S
Resistencia gasolina (Hidrocarburos alifáticos)	P	P	P	P-S	S	S	S	---	B	M	B	S	P-S	P
Resistencia benzol (Hidrocarburos aromáticos)	P-S	P-S	P-S	P-S	P	P	P	---	B	M	---	S	P	P
Resistencia solventes desgrasantes (HC halogenados)	P-S	P-S	P-S	P	P	P	P	---	B	---	---	P-S	P-S	P-S
Resistencia alcohol	B-M	B-M	B-M	M	M	M	M	---	P	---	---	B	B	M

NOTA: Se presentan calificaciones según el comportamiento general de compuestos de formulaciones típicas.
Formulaciones especiales pueden mejorar estos comportamientos.
P = POBRE S = SUFICIENTE B = BUENO M = MUY BUENO E = EXCELENTE
S-F = SEMIFLEXIBLE BD = BAJA DENSIDAD AD = ALTA DENSIDAD SR = SEMIRRIGIDO Ce = CELULAR F-C = FLEXIBLE P/CU

TABLA 3. COMPARATIVA DE PROPIEDADES DE COMPUESTOS PARA AISLAMIENTOS DE CONDUCTORES. CONDUMEX

Los compuestos más utilizados en la actualidad son el papel impregnado, el EP y el XLP.

Un factor muy importante en el aislamiento es su espesor. De acuerdo con la tensión de operación y las características del circuito se tienen tres niveles de aislamiento que son:

- Clase 1. Nivel 100%. Se utiliza este nivel de aislamiento en sistemas protegidos con relevadores que liberen fallas a tierra en un tiempo menor a un minuto. Es aplicable a la mayoría de los sistemas con neutro a tierra y a sistemas donde la razón de reactancia cero y de secuencia positiva (X_0/X_1) no este en el intervalo de (-1 a -40) pues pueden

presentarse valores de tensión excesivamente altos en condiciones de falla a tierra.

- Clase 2. Nivel 133%. Se usa generalmente en sistemas con neutro aislado y para sistemas que no cumplan con los requisitos del nivel 100%, y que se libere la falla en no más de una hora. También se usa en cables submarinos en donde los esfuerzos mecánicos requieren un aislamiento mayor.

- Clase 3. Nivel 173%. Se ocupa en sistemas en donde el tiempo para liberar la falla no está definido. También se usa en sistemas con problemas de ferroresonancia ya que pueden presentarse sobretensiones de gran magnitud.

4. PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL AISLAMIENTO. Se utiliza en circuitos mayores de 5kV. Consiste en un material semiconductor en contacto con el aislamiento y que es compatible con este. Para cables con aislamiento seco se usan materiales termofijos, termoplásticos, cinta conductora y/o barniz semiconductor. En el caso de papel impregnado se usan cintas de papel CB.

Los conductores eléctricos, bajo un potencial aplicado, están sometidos a esfuerzos eléctricos radiales, longitudinales y tangenciales. Los esfuerzos radiales siempre estarán presentes, los esfuerzos tangenciales están asociados con campos radiales no simétricos y ocurren en cables multiconductores, los esfuerzos longitudinales están asociados con la presencia de tensiones superficiales a lo largo del cable.

Los esfuerzos tangenciales y longitudinales se incrementan por uno de los principios básicos de los campos eléctricos que consisten en que al aplicar una tensión a dieléctricos colocados en serie, con diferente permitividad relativa, se dividirá en razón inversa a dichas permitividades. En el caso de los cables de energía, la cubierta y el medio que rodea al cable forman un dieléctrico en serie con el aislamiento. La pantalla semiconductora 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.

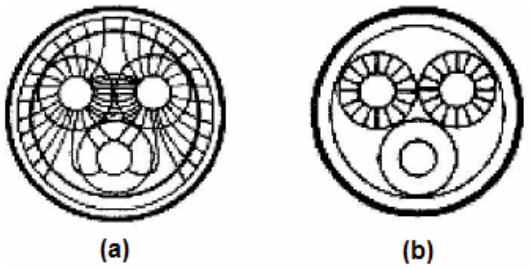


FIGURA 21. ESFUERZOS ELÉCTRICOS EN: (a) CABLE SIN PANTALLA SOBRE EL AISLAMIENTO
(b) CABLE CON PANTALLA SOBRE EL AISLAMIENTO

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. PANTALLA METÁLICA. Se coloca sobre la pantalla semiconductora sobre el asilamiento y puede ser de alambres, cintas planas o corrugadas, o una combinación de alambres y cintas. En los cables con papel impregnado se ocupa una cubierta de plomo y en ocasiones de aluminio. La pantalla metálica además de cumplir las mismas funciones que la pantalla semiconductora sobre el aislamiento, reduce el peligro de descargas eléctricas al personal pues al ser conectada físicamente a tierra se evita una diferencia de potencial considerable 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 una trayectoria a tierra de las corrientes capacitivas existentes.

Es importante mencionar que la pantalla metálica siempre debe operar al potencial de tierra, pues si una pantalla metálica no es aterrizada es más peligrosa que un cable sin pantalla, pues se crean pantallas flotantes con un potencial que puede llegar a ser tan grande que perfore la cubierta produciendo calor y quemaduras al cable. Por lo tanto las pantallas siempre deben conectarse a tierra en las terminales del circuito y en todos los empalmes. La pantalla metálica tiene distintos diseños de acuerdo a su propósito de uso:

- Pantalla electrostática. Deben ser de metales no magnéticos y pueden estar constituidos por cintas y/o alambres, generalmente de cobre o cobre estañado, o por cubiertas metálicas de plomo o aluminio en el caso del papel impregnado.

- Pantalla para conducir corriente de falla. Este tipo de pantalla tiene una conductancia mayor para conducir las corrientes de falla con relación a dispositivos de protección por sobrecorriente.

- Pantalla neutro. Esta diseñada para operar como neutro, generalmente usado en sistemas residenciales subterráneos.

6. CINTA SEPARADORA. Es una envolvente constituida por material plástico, va colocada sobre la pantalla metálica. Cumple las funciones de protección de la pantalla, sujeción en caso de que se trate de una pantalla a base de alambres y como separador entre la pantalla y la cubierta externa.

7. CUBIERTA. La cubierta se coloca en el exterior y se encarga de proteger el cable del medio ambiente. El material utilizado para la cubierta dependerá de las condiciones a las que será expuesto el conductor, existen cuatro tipos de cubiertas de acuerdo material del que están constituidas:

- Metálicas. Por lo general se utiliza el plomo, aluminio y aleaciones.
- Termoplásticos. Usualmente se usa PVC y polietileno de alta y baja densidad.
- Textiles. Para este tipo se usa una combinación de yute impregnado en asfalto y recubierto con cal y talco, con el fin de que no se adhieran las otras capas.

III. 2 Clasificación de los cables subterráneos.

Existen diversas clasificaciones para los conductores eléctricos subterráneos de acuerdo a su forma, materiales, propiedades, etc. En el siguiente cuadro mostramos las clasificaciones más comunes:

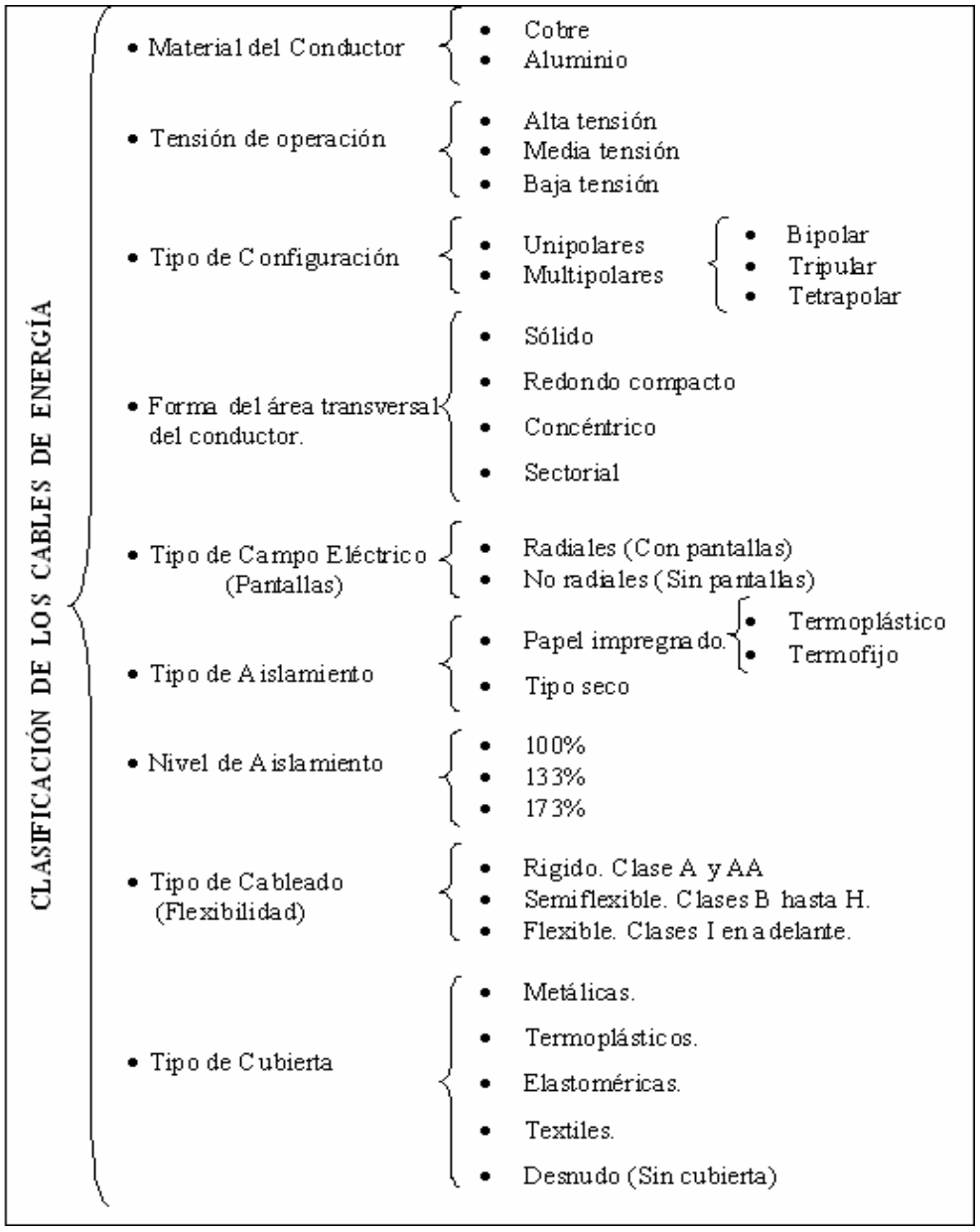


TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES

A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas clasificaciones:

TENSIÓN DE OPERACIÓN.

Alta tensión.

Son cables que trabajan a tensiones mayores a 35 kV, hasta 400 kV, se utilizan en sistemas de transmisión y subtransmisión de energía eléctrica a largas distancias.

Media Tensión.

Estos conductores operan en tensiones entre los 5 kV y los 35 kV, se utilizan en sistemas de transmisión y en sistemas de distribución.

Baja tensión.

Los sistemas de distribución en zonas urbanas ocupan en gran medida cables subterráneos de baja tensión, que operan a menos de 5 kV

TIPO CONFIGURACIÓN.

Cable unipolar.

Este cable se ha empleado en corriente continua, pero en la actualidad se emplea mucho en alta tensión. Está constituido por una sola alma, que casi siempre es de sección circular.

Cable multipolar.

Se denomina cable multipolar el formado por dos o más conductores, bien sean de fases, neutro, protección o de señalización; cada uno lleva su propio aislamiento y el conjunto puede completarse con envolvente aislante, pantalla y recubrimiento.

Los principales tipos de cables multipolares son:

a) Bipolar. Destinado al transporte de energía eléctrica por corriente continua o monofásica.

b) Tripolar. Empleado en el transporte de corriente alterna trifásica. Las formas de los conductores pueden ser circulares o sectoriales y la sección de la cubierta es normalmente circular.

c) Tetrapolar. Está constituido por cuatro conductores, tres fases y neutro, siendo éste de menor sección que las fases.

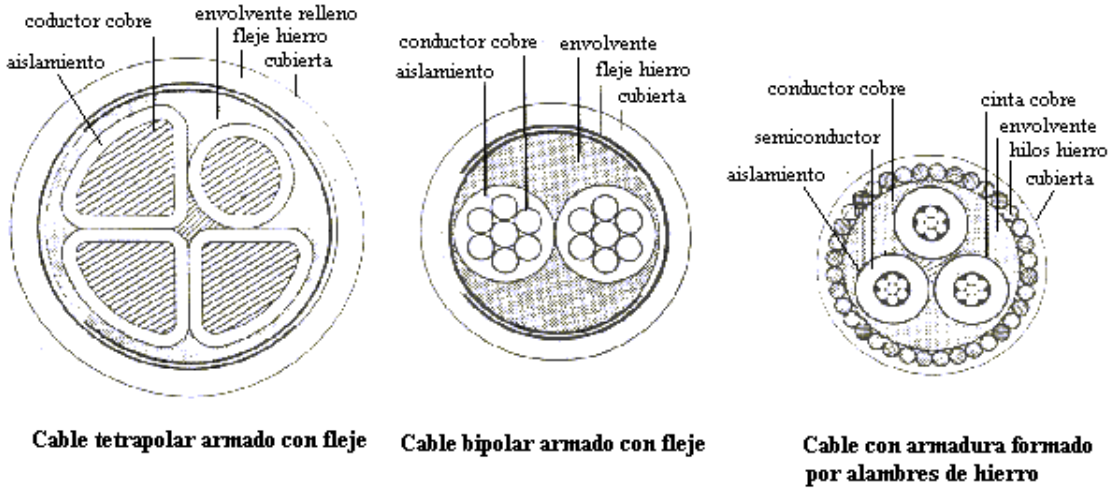


FIGURA 22. CLASIFICACIÓN DE CABLES SUBTERRÁNEOS MULTIPOLARES

TIPO DE CAMPO ELÉCTRICO.

Cable de campo no radial.

El campo eléctrico en la masa del aislamiento no es radial, ya que, además del campo debido a su propio conductor, inciden los campos de las otras dos fases, dando lugar a componentes tangenciales. Esta forma de trabajo no favorece el aislamiento, por lo que queda relegado únicamente hasta tensiones de unos 15 kV, se presenta en conductores sin pantallas.

Cable de campo radial.

Para evitar los problemas que plantean los cables de campo no radial se colocan las pantallas que confinan el campo eléctrico al interior del cable. Estos cables se emplean en alta tensión y se fabrican de forma unipolar o multipolar.

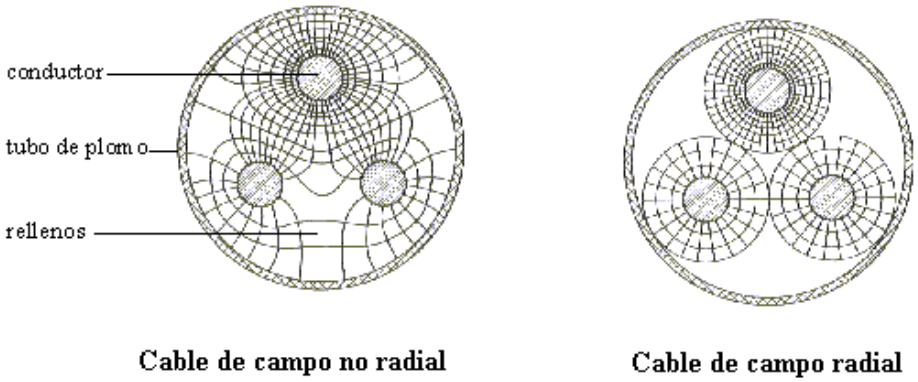


FIGURA 23. CLASIFICACIÓN DE CABLES SUBTERRÁNEOS POR TIPO DE CAMPO

III. 3 Cables subterráneos más utilizados.

En líneas subterráneas de media tensión se utilizan varios tipos de cables, algunos ejemplos:

Cables de aislamiento seco.

1. Composición: Cuerda de hilos de aluminio recubierto de pantalla semiconductora, aislamiento plástico, pantalla semiconductora, pantalla de cobre y cubierta de PVC.

2. Designación: Se designan por tres letras (la primera indica el aislamiento, la segunda la pantalla y la tercera el material de la cubierta), seguidas por la tensión nominal, la composición del cable con su sección y la sección de la pantalla. Así el cable DHV 12/20 kV 1x240k Al + H16, es un cable con aislamiento de etileno propileno (D), pantalla (H), cubierta de PVC (V), tensión nominal 12/20 kV, unipolar de 240 mm^2 de sección, forma circular (k), aluminio y sección de la pantalla de 16 mm^2.

3. Características: Las principales características de los conductores más utilizados se indican en la siguiente tabla.

CARACTERÍSTICAS	Cables RHV/DHV 12/20 kV			
	1x95 Al	1x150 Al	1x240 Al	1x400 Al
Sección nominal (mm^2)	95	150	240	400
Espesor nominal del aislamiento (mm).	5.5	5.5	5.5	5.5
Diámetro exterior aproximado (mm).	30	33	37	47
Número de alambres del conductor.	15	15	30	53
Radio mínimo de curvatura (mm).	420	480	560	680
Peso aproximado (kp/km).	910	1140	1540	2300
Nivel de aislamiento a impulsos (kV).	125	125	125	125
Intensidad admisible al aire a 40 ^{0}C (A).	245	320	435	580
Intensidad admisible enterrado a 25 ^{0}C (A).	250	315	415	530
Intensidad admisible en corto circuito con duración de 0.1 s (kA).	27.9	44.1	70.5	117.6
Resistencia máxima a 20 ^{0}C (Ω/km).	0.320	0.206	0.125	0.078
Capacidad (μF/km).	0.235	0.257	0.310	0.360
Reactancia inductiva (Ω/km).	0.119	0.110	0.104	0.097

TABLA 5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE AISLAMIENTO SECO. CONDUMEX

Cables de papel impregnado

1. Composición: Cable trifásico con conductores de cobre o aluminio, aislados con papel aceitado, cubierta común de plomo y cubierta exterior de PVC.

2. Designación: se designan por tres letras, la primera indica el aislamiento de papel (P), la segunda la cubierta de plomo (P) y la tercera la cubierta exterior (V), seguidas por la tensión nominal y la composición del cable con su sección y material conductor. Así el cable PPV 12/15 kV 3x95 Cu, es el cable con aislamiento de papel impregnado, cubierta de plomo y cubierta exterior de PVC, 12/15 kV de tensión nominal, tripular de cobre de 95 mm^2 de sección.

3. Características: las principales características de los conductores más utilizados son las indicadas en la tabla siguiente:

CARACTERÍSTICAS	PPV 12/15 V	
	3x95 Al	3x150 Al
Sección nominal (mm^2)	95	150
Número de hilos.	19	37
Diámetro exterior (mm).	57	59
Radio mínimo de curvatura (mm).	114	60
Intensidad nominal al aire a 40 ^{0}C (A)	215	195
Intensidad nominal enterrado a 25 ^{0}C (A)	125	235
Intensidad admisible en corto circuito con duración de 0.5 s (kA).	9.3	15
Resistencia máxima a 20 ^{0}C (Ω/km).	0.19	0.206

TABLA 6. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE PAPEL IMPREGNADO. CONDUMEX

III. 4 Accesorios de los cables subterráneos.

Son los elementos auxiliares para el funcionamiento adecuado de los cables.

EMPALMES. Sirven para unir tramos de cable, de tal manera que eléctricamente puedan ser considerados como un solo tramo o pieza respectivamente. Se hacen necesarios por requerir en ocasiones tramos mayores que los obtenidos de los fabricantes, o bien, porque al presentarse una falla en algún punto no se justifica el cambio total de un cable. Estos empalmes se elaboran en el lugar de la instalación. La longitud de los tramos depende de su sección, limitación de equipo de jalado, equipo de fabricación y resistencia a tensión mecánica. Los empalmes subterráneos empleados en media tensión son de distintos tipos:

a) Empalme con cable de aislamiento seco: Para el cable RHV se utiliza manguito de empalme por compresión con aplicación de distintas cintas conductoras y aislantes para la reconstrucción del aislamiento del conductor. Este empalme con cuerpo retráctil en frío se utiliza hasta 36 kV para cables con aislamiento seco.

b) Empalme mixto: Para conexión de cable tripular con aislamiento de papel impregnado con tres cables unipolares de aislamiento seco, suele hacerse con vertido de resina en frío.

c) Conectores enchufables: Empalme premoldeado que facilita la unión de un cable aislado a otro cable o a un terminal de equipo eléctrico. En estos conectores se distinguen cuatro partes: conductor, pantalla interna, aislamiento y pantalla externa. Se utilizan hasta una tensión de 24 kV.



FIGURA 24. EMPALME CONTRACTIL EN FRÍO MT

NOM - J - 158

Empalmar cables de Media Tensión en registros e instalaciones, aplicable en zonas de alta humedad. El cuerpo del empalme tiene integrado el control de esfuerzos para su rápida y fácil instalación.

Empalme contráctil en frío para cables de energía de 15, 25 y 35 kV entre fases, calibre B AWG. Debe ser: material de hule silicón, proveer un excelente desempeño eléctrico, incorporar un control de esfuerzos integrado en un sólo cuerpo, cada empalme debe cubrir un amplio rango de calibres y tamaños. Debe siempre ejercer presión radial e incluir un sello contra agua y alta humedad.

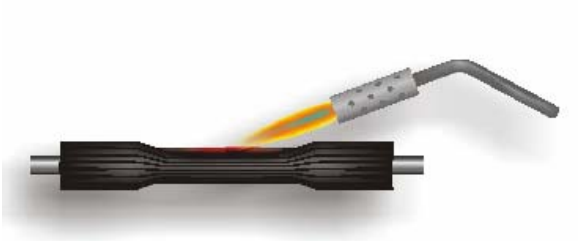


FIGURA 25. EMPALME TERMOCONTRÁCTIL MT

NOM - J - 158

Unir cables de energía aislados para Media Tensión en Sistemas de Distribución Subterránea.

Empalme de Media Tensión termocontráctil, para cable de energía de 15, 25 y 35 kV entre fases, calibre B AWG. Debe ser de un material termocontrátil, incorporar un control de esfuerzos integrado en un sólo cuerpo y cadaempalme debe incluir un sello contra agua y alta humedad.

TERMINALES. Se utilizan en los extremos de los cables como medio de conexión y para aliviar el esfuerzo del campo eléctrico del cable. Llevan un cono deflector (componente del terminal que unido a la pantalla o envolvente metálica del cable, en el punto donde esta termina, reduce el gradiente de potencial en ese punto).

Los terminales más utilizados, según el tipo de cable son:

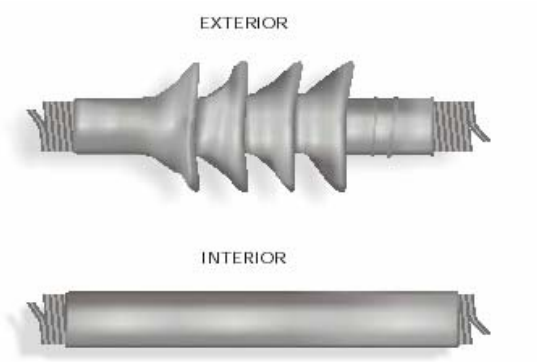


FIGURA 26. TERMINAL CONTRÁCTIL EN FRÍO MT

NMX - J - 199

Terminal de MT tipo contráctil en frío para cables de energía de A kV de tensión entre fases, calibre B AWG (KCM) e instalación tipo C. Material de hule silicón, con control de esfuerzos de alta constante dieléctrica. Incorpora compuestos para el sello superior y el alivio de esfuerzos, resistente a los rayos UV, campanas integradas al cuerpo.

Se usa para terminar cables de Media Tensión en instalaciones interior y exterior.

Clase 1: Aplicables en zonas de alta contaminación o normal, alivia los esfuerzos del campo eléctrico, se usa en Media Tensión hasta 35 kV.

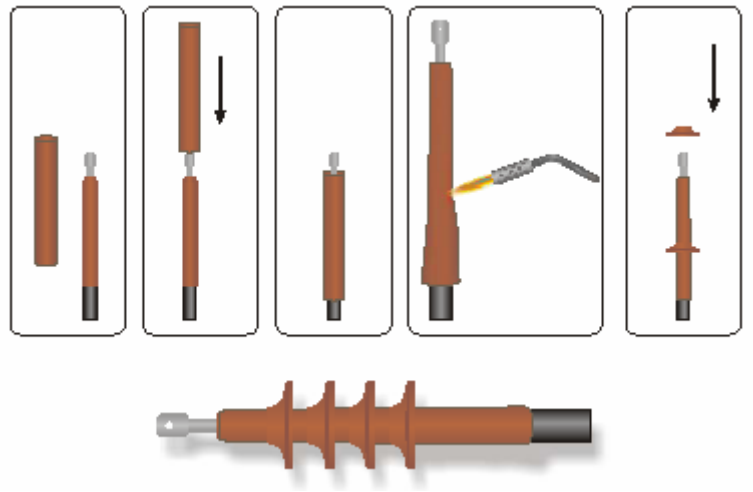


FIGURA 27. TERMINAL TIPO TERMOCONTRÁCTIL MT

NMX - J - 199

Clase 1, aplicable en zonas de alta contaminación o normal. Alivia el esfuerzo del campo eléctrico en el cable. Se usa en Media Tensión cables, en instalación interior o exterior. Nota: En zonas con alta contaminación llevará una campana extra.

Terminal termocontráctil para cables de energía de A kV de tensión entre fases, calibre B AWG e instalación tipo C.

- Cable de aislamiento seco. Se utilizan terminales preformados, sin aislamiento de porcelana.

- Cables de papel impregnado. Las cajas terminales constan de aisladores de porcelana rellenos de mezcla aislante según el tipo de aislamiento del cable.



FIGURA 28. ADAPTADOR 200 PARA ATERRIZAR PANTALLAS

CFE - AAP
ANSI 386

Adaptador para aterrizar las pantallas metálicas de los cables de Media Tensión tipo D.S. En sistemas de 200 A para A AWG.

Conectar las pantallas metálicas a tierra, de los cables de Alta Tensión en Sistemas de Distribución Subterránea. Conservar en su empaque original o bolsa de plástico debidamente sellada, proteger contra la humedad, manejo delicado.

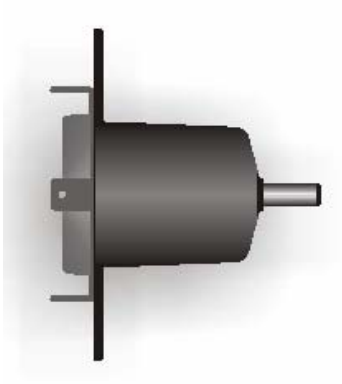


FIGURA 29. BOQUILLA TIPO POZO MT

ANSI 386

Boquilla tipo pozo para 200 A, aislada para A kV de tensión, de longitud B cm.
Boquilla para equipo de Distribución Subterránea, aislados con aceite convencional.

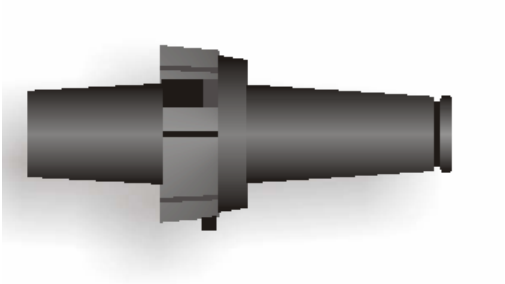


FIGURA 30. BOQUILLA TIPO INSERTO MT-200-OCC

ANSI 386

Boquilla tipo inserto para operación con carga, de 200 A, aislado para A kV (tensión de fase a tierra). Conectar cables aislados por medio de terminales tipo codo 200 A a equipos y accesorios de Distribución Subterránea.

III. 5 Instalación de los Cables Subterráneos.

La instalación de cables subterráneos se puede hacer de distintas formas, y es necesario conocer las características de cada una de ellas, para realizar una elección adecuada, ya que la capacidad de conducción en cada una es muy diferente. Daremos una explicación breve, de los tipos de instalación existentes.

CABLES DIRECTAMENTE ENTERRADOS.

Este tipo de instalación se utiliza en lugares donde no hay construcciones y se tiene facilidad de hacer zanjas en cualquier momento, en el caso de que se necesiten reparaciones, por ejemplo en jardines, campos abiertos, parques, etc.

Ventajas:

- Su instalación es muy sencilla y no se exponen a daños, como dobleces excesivos y tensión mecánica.
- Su capacidad de conducción es de 10 a 20 por ciento mayor que en ductos, por tener una mayor disipación del calor.
- Tiene un costo bajo de instalación, en comparación con los otros tipos de instalaciones.

Desventajas:

- No se pueden instalar bajo construcciones.
- Realizar una reparación resulta difícil y lleva mucho tiempo.
- Están más expuestos a la corrosión por estar en contacto directo con el suelo.

Las dimensiones de la zanja dependerán de la cantidad de conductores y la corriente que conducirán. Una vez colocados los cables en la zanja se rellena con una capa de arena sin piedras y encima el material obtenido en la excavación.

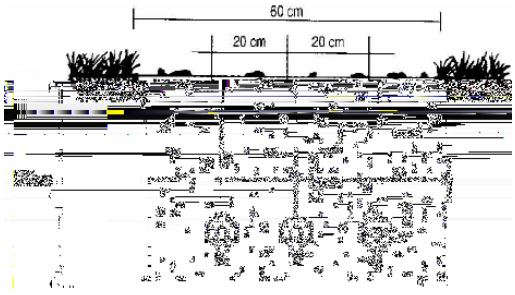


FIGURA 31. ZANJA

DUCTOS.

Es el tipo de instalación más utilizado, se usa en la distribución comercial y en la industria. Es una red flexible, en la que se tiene una gran facilidad para efectuar reparaciones.

Ventajas.

- Facilidad y rapidez para efectuar reparaciones y cambios en los cables.
- Puede instalarse en zonas construidas, pues no será necesario abrir zanjas para las reparaciones.

Desventajas

- Tiene un costo alto, por el material utilizado.
- En la instalación, los cables están expuestos a sufrir daños por la tensión mecánica.
- Tiene una menor capacidad de corriente que los cables directamente enterrados.

Usualmente los ductos son tubos de PVC de 80 mm de diámetro exterior y 6 m de longitud, que proporcionan una protección contra esfuerzos mecánicos al cable. Los ductos se unen entre sí con coples hasta obtener la longitud deseada, van instalados formando un conjunto de varias vías y se construyen ahogados en concreto de manera que forman un banco de 2, 4, 8 o 12 vías. Sin embargo para el diseño, es necesario considerar la corriente a conducir, y el número de conductores que irán en cada ducto, para determinar la cantidad de relleno, pues esto repercute en la disipación térmica.

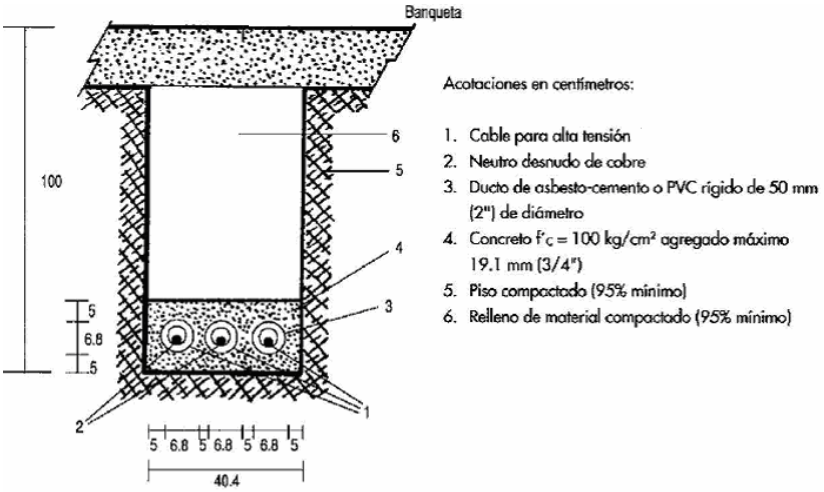


FIGURA 32. DUCTOS

En este tipo de instalaciones se deben construir registros y pozos de visita, por lo menos cada 100 metros, para colocar el equipo eléctrico y realizar labores de mantenimiento y reparación de fallas. La disposición de estos pozos, debe evitar las inundaciones y tener una buena ventilación.

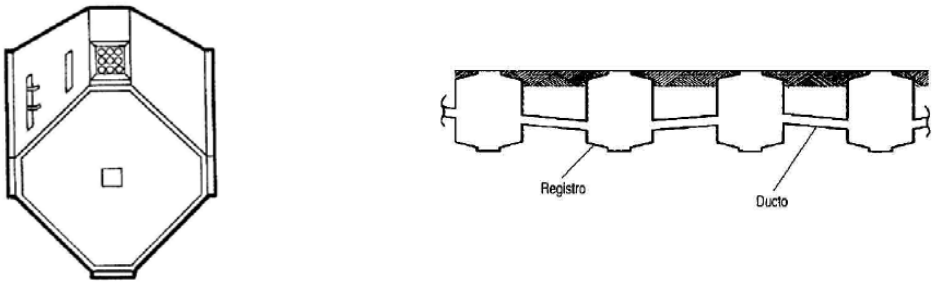


FIGURA 33. DISPOSICIÓN DE POZOS

TRINCHERAS.

Las trincheras son utilizadas principalmente en subestaciones eléctricas, donde se tienen muchos conductores de corta longitud y que deben transportar mucha corriente. También son comunes en la industria, pues se colocan en el interior de las naves.

Ventajas

- Las reparaciones son muy rápidas y fáciles de realizar.
- Tiene la facilidad de aumentar conductores en cualquier momento.
- Se facilita la interconexión de dispositivos.
- Buena disipación térmica.
- Los cables no están muy expuestos a sufrir daño durante la instalación.

Desventajas

- Tiene el costo más alto, en comparación con las demás instalaciones subterráneas.

Consiste en una cavidad, generalmente rectangular, formada generalmente, por secciones de concreto prefabricado, cuya colocación es sencilla. Por esta cavidad serán llevados los conductores, deberá quedar espacio para realizar maniobras al personal. Los conductores pueden ir directamente sobre el fondo de la trinchera, o en charolas o herrajes a lo largo de las paredes, esto dependerá de las condiciones de construcción y del ambiente, ya que hay muchos lugares con humedad o contaminación.

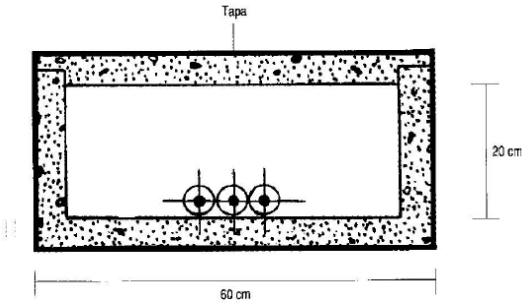


FIGURA 34. TRINCHERAS

CHAROLAS.

Las charolas son estructuras rígidas no combustibles, generalmente metálicas, diseñadas para soportar y conducir cables de energía.

Ventajas

- Se pueden instalar en lugares donde no es posible hacer zanjas.
- Las reparaciones son muy rápidas y fáciles de realizar.
- Tiene mucha flexibilidad en la instalación y reparación pues se pueden aumentar conductores en cualquier momento.
- Tiene una fácil localización de fallas.
- Buena disipación térmica.

Desventajas

- Si se utilizan charolas metálicas es necesario aterrizarlas para evitar accidentes.

Se ocupa mucho en la industria pues tiene la ventaja de ser una instalación muy flexible para realizarle modificaciones.

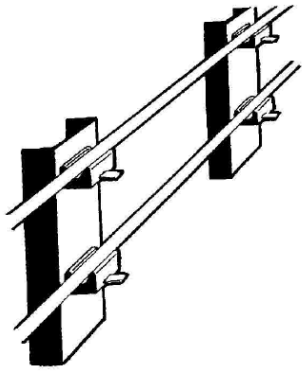


FIGURA 35. CHAROLAS

CAPITULO IV
PÉRDIDAS EN CONDUCTORES.

IV. 1 Tipos de pérdidas en media tensión.

A continuación se presentan diferentes tipos de pérdidas en instalaciones de media tensión, que afectan en mayor o menor medida el funcionamiento de los sistemas. De acuerdo a esto podemos identificarlos para resolverlos o manejarlos dentro de parámetros admisibles que no reflejen grandes costos económicos.

IV. 2 Pérdidas en la Línea de distribución.

Para propósitos de análisis, las líneas de distribución frecuentemente se consideran totalmente sin pérdidas. Sin embargo, en realidad, hay varias formas en que la potencia se pierde en la línea de distribución, son;

- Pérdidas del conductor.

- Pérdida por radiación.

- Pérdida por el calentamiento del dieléctrico.

- Pérdida por acoplamiento.

IV. 2. 1 Pérdidas del conductor. Efecto Joule.

Dado que el conductor tiene una resistencia inherente a la corriente, parte de la energía eléctrica se disipa en calor al intentar la corriente vencer dicha resistencia. Esto se llama pérdida del conductor o pérdida por calentamiento del conductor y es, simplemente, una pérdida por calentamiento.

Debido a que la resistencia se distribuye a lo largo de la línea de transmisión, la pérdida por calentamiento del conductor es directamente proporcional al cuadrado de longitud de la línea. Además, porque la disipación de potencia

es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, la pérdida del conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica.

$$p = R_e I_e^2$$

Para reducir las pérdidas del conductor, simplemente debe acortarse la línea de transmisión, o utilizar un cable de diámetro mas grande (deberá tenerse en mente que cambiar el diámetro del cable, también cambia la impedancia característica, en consecuencia, la corriente y la resistencia, que es inversamente proporcional al diámetro).

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, por ende también aumentan las pérdidas por calentamiento. A frecuencia de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino por que este factor se considera en la manufactura de los conductores. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente.

En una línea de transmisión convencional las pérdidas se deben a la disipación por calor tanto en los conductores como en el dieléctrico que los soporta. En general, las pérdidas en los conductores son mucho mayores que en el dieléctrico. Estas últimas son, en la mayoría de los casos, despreciables frente a las pérdidas en los conductores. Además la pérdida del conductor depende de la frecuencia que maneje dicho conductor.

Hay dos tipos de resistencia, la resistencia óhmica que se presenta cuando por un conductor circula una corriente continua y la resistencia efectiva ocurre cuando circula una corriente alterna. De tal forma que:

$$R_{efectiva} > R_{óhmica}$$

Este fenómeno es conocido como efecto Kelvin o Skin y para explicarlo podemos imaginar el conductor compuesto por una serie de filamentos paralelos al eje del conductor, todos ellos de las mismas dimensiones y

misma resistencia. Cuando se tiene una corriente continua, la diferencia de potencial entre filamentos es la misma, por lo tanto la corriente en cada uno de ellos es la misma, es decir la densidad de corriente es uniforme en el conductor.

Al circular una corriente alterna se induce una fuerza electromotriz en cada filamento, opuesta a la diferencia de potencial en cada uno de ellos. Los filamentos centrales reciben mas líneas de fuerza que los filamentos superficiales, y por lo tanto la Fem. será mayor en los filamentos centrales. Como la diferencia de potencial en todos los filamentos debe ser igual ya que están conectados en paralelo, los filamentos centrales tendrán menos corriente que los exteriores, es decir se tendrá una mayor densidad de corriente en los filamentos superficiales. Esto equivale a una reducción de la sección transversal de conductor y por lo tanto en un aumento de la resistencia que produce un aumento en las pérdidas por efecto Joule.

Este efecto depende de distintas variables y entre ellas la frecuencia y dado que las frecuencias utilizadas en la transmisión de energía eléctrica son bajas el efecto Kelvin no es muy importante, pero es un factor de pérdidas que debemos conocer y en algunas ocasiones considerar.

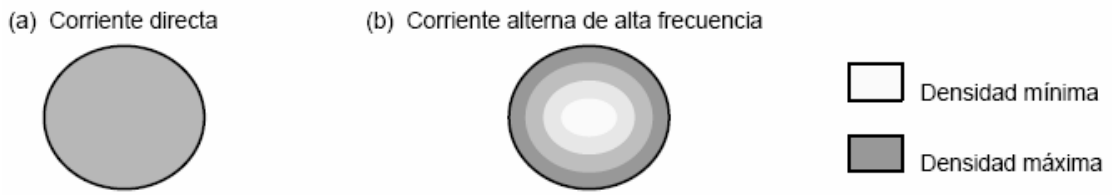


FIGURA 36. DENSIDADES DE CORRIENTE EN UN MISMO CONDUCTOR, (A) A CORRIENTE DIRECTA Y (B) A CORRIENTE DE ALTA FRECUENCIA.

IV. 2. 2 Pérdidas por radiación.

Si la separación entre los conductores en varias líneas de transmisión es una fracción apreciable de una longitud de onda, los campos electrostáticos y electromagnéticos que rodean al conductor hacen que la línea actúe como antena y que transfiera energía a cualquier material conductor cercano. La cantidad de energía difundida depende del material dieléctrico, los espacios del conductor y la longitud de la línea. Las pérdidas por radiación se reducen si protegemos adecuadamente el cable; por lo tanto, los cables coaxiales tienen menos pérdidas por radiación que las líneas de dos cables paralelos.

IV. 2. 3 Pérdidas por calentamiento del dieléctrico.

Una diferencia de potencial entre dos conductores de una línea de transmisión causa la pérdida por calentamiento del dieléctrico. El calor es una forma de energía y tiene que tomarse de la energía que se propaga a lo largo de la línea. Para líneas dieléctricas de aire, la pérdida de calor es despreciable; sin embargo, para líneas sólidas se incrementa la pérdida por calentamiento del dieléctrico con la frecuencia.

IV. 2. 4 Pérdidas por acoplamiento.

La pérdida por acoplamiento ocurre cada vez que se hace una conexión de una línea de transmisión, o cuando las líneas de transmisión son interrumpidas por un dispositivo de interconexión; es decir, que se unen materiales diferentes, estas discontinuidades tienden a calentarse, a radiar energía, y a disipar potencia. En general, la pérdida de señal es provocada por fallas en la instalación del cableado, por la calidad del cable o por la mala instalación de los conectores empleados, en otros casos puede ser por el exceso de distancia en el tendido del cableado.

IV. 3 Efecto de las Armónicas.

Las armónicas son componentes de frecuencias diferentes a la del suministro eléctrico (50 ó 60Hz) en la mayoría de los casos frecuencias múltiplos enteros de la componente fundamental y en otros múltiplos no enteros, las cuales son generadas por cargas no lineales tales como equipo electrónico, hornos, equipos magnéticos saturados, balastras, etc. Provocan la distorsión de formas de onda de corrientes y voltaje, por lo cual, es uno de los fenómenos que afectan la confiabilidad del sistema y por lo tanto la calidad de la energía. La presencia de armónicas en el sistema eléctrico puede ser solucionada mediante filtros que ayudan a su reducción y / o eliminación.

IV. 4 Pérdidas por parámetros de la línea.

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas, como la conductancia de los cables y la constante dieléctrica del aislante, y sus propiedades físicas, como el diámetro del cable y los espacios del conductor.

Estas propiedades, a su vez, determinan las constantes eléctricas primarias:

- resistencia de CD en serie (R),
- inductancia en serie (L),
- capacitancia de derivación (C),
- y conductancia de derivación (G).

La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea, mientras que entre los dos conductores ocurren la capacitancia y la conductancia. Las constantes primarias se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la línea, por lo tanto, se les llama comúnmente parámetros distribuidos. Los parámetros distribuidos se agrupan por una longitud unitaria dada, para formar un modelo eléctrico artificial de la línea. Las características de una línea de transmisión se llaman constantes secundarias y se determinan con las cuatro constantes primarias. Las constantes secundarias son impedancia característica y constante de propagación.

En este apartado se mencionarán inductancia y capacitancia, ya que la resistencia fue mencionada antes.

Inductancia y reactancia inductiva. Es un parámetro de los circuitos eléctricos por medio del cual medimos el efecto del campo magnético sobre ellos y puede definirse como:

$$L = N\frac{d\phi}{di}[H]$$

Donde:

L = inductancia.

N = número de vueltas del conductor.

φ = intensidad de flujo magnético.

i = intensidad de corriente eléctrica.

En las líneas de transmisión consideramos N=1 y los valores eficaces, esto es:

$$L = \frac{\phi}{i}[H]$$

La corriente produce un campo magnético alrededor del conductor, con líneas de flujo concéntricas a este conductor. Al tener el valor de la inductancia (La=Φa/Ia) podemos calcular la reactancia inductiva de la línea que es una componente de la impedancia de la línea monofásica:

$$Xa=Xb=j2\pi fLa$$

$$Za=Zb=Ra+jXa$$

$$Z_L=Za+Zb=2Za$$

Para circuitos trifásicos se tienen tres hilos cilíndricos, rectos e iguales el que la suma de las corrientes de los tres conductores es igual a cero ya que se tiene un circuito balanceado. Además para obtener los parámetros de un circuito trifásico balanceado basta con analizar una sola de las fases. Para que lo anterior se cumpla en el cálculo de los flujos magnético será necesario que los conductores se encuentren a una distancia “d” igual entre ellos, esto se logra colocando los conductores en los vértices de un triángulo equilátero,

ya que si colocamos los conductores en cualquier otra disposición tendremos flujos diferentes en cada uno y el circuito estará desbalanceado.

Capacitancia y Reactancia Capacitiva. La capacitancia es un parámetro de los circuitos eléctricos por medio del cual se mide el efecto del campo eléctrico sobre dichos conductores. Depende de la naturaleza del dieléctrico, y de parámetros geométricos.

Al aplicar una diferencia de potencial entre los extremos de dos conductores separados por un dieléctrico, adquieren una carga (q), esto es:

$$q = Cv$$

Las líneas se comportan como placas de un capacitor teniendo de dieléctrico al aire, y se crea una impedancia capacitiva que provoca corrientes capacitivas en la línea, incluso cuando no hay carga real, esto es conocido como Efecto Ferranti, el cual puede elevar el voltaje de la línea incluso hasta le doble y las corrientes capacitivas bajo ciertas circunstancias pueden llegar a ser iguales a la capacidad de la línea, provocando grandes pérdidas en la transmisión.

IV. 5 Metodología para cálculo de pérdidas en conductores.

Las pérdidas en el conductor se pueden calcular como:

$$p = R_e I_e^2$$

Donde:

p = Pérdidas de energía por segundo en un conductor

R_e = Resistencia efectiva del conductor [Ω]

I_e = Valor eficaz de la corriente [A]

Para calcular el efecto Ferranti o capacitivo en una línea de transmisión se tiene la siguiente expresión:

Para una línea trifásica balanceada:

$$C_A = \frac{q_a}{Va} = \frac{2\pi E_0}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$$

Donde:

Ca = Capacitancia por fase

Eo = Permitividad del vació = $8.85x10^{-12}$[F/m]

d = Distancia entre fases (circuito trifásico dispuesto en un triángulo equilátero)

r = Radio del conductor

La impedancia capacitiva (Xa) será:

$$X_A = \frac{1}{2\pi fCa} = \frac{6.596}{f}\log\left(\frac{d}{r}\right)\left[M\Omega.Km\right]$$

Generalizando para cualquier tipo de línea:

$$X_A = \frac{6.596}{f}\log\left(\frac{DMG_{abc}}{RMG^*}\right)\left[M\Omega.Km\right]$$

Siendo:

DMGabc la distancia media geométrica de la línea.

RMG^* El radio físico o pseudo radio medio geométrico de los conductores de la línea equivalente. Es decir RMG es función de r_g y el RMG^* es función de r.

Método para el cálculo de la potencia disipada en un conductor.

La potencia disipada en un conductor por unidad de longitud puede obtenerse empleando una expresión muy similar a $\frac{I}{2}R$ (que nos proporciona la potencia disipada en una resistencia R) de la teoría de circuitos concentrados, que es:

$$p_c = \int_{\text{Contorno}} \frac{1}{2} R_s \left|\bar{J}_s\right|^2 dC \qquad [W/m]$$

siendo Rs la resistencia superficial del metal y Js la densidad de corriente superficial inducida en la superficie conductora por la onda que se propaga. En el caso particular de las líneas de transmisión que nos interesan (coaxial,

línea bifilar) la corriente I(z) se distribuye de forma uniforme por la superficie del conductor, Js (z) vendrá dada por:

$$J_s(z) = \frac{I(z)_{Sup.cond.}}{Perímetro} \qquad [A/m]$$

donde: I(z) es la corriente en la línea, y z indica la dirección de propagación de la corriente. La expresión más general de la corriente I(z) en una línea adaptada es:

$$I(z) = \frac{V_0}{Z_0} e^{-(\alpha + j\beta)z} \qquad [A]$$

Por otra parte, la resistencia superficial Rs de una superficie metálica es un indicador de la oposición que ejerce a que se propaguen corrientes por su superficie. En el caso de buenos conductores ($\sigma_c >> \omega\varepsilon_0$) la resistencia superficial puede aproximarse por:

$$R_s \approx \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\sigma_c}}$$

Capítulo V.
CAMBIO DE TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

V.1 Topología de la Red Eléctrica de Ciudad Universitaria.

Como ya se mencionó antes, la configuración de los alimentadores de la red de distribución de energía eléctrica de Ciudad Universitaria corresponde a la de anillos abiertos para proporcionar mayor confiabilidad al sistema, ya que en caso de falla de alguna sección, el servicio puede ser restablecido rápidamente. La red de distribución de media tensión se hace a través de ductos subterráneos de asbesto cemento de 4 pulgadas de diámetro, ahogados en concreto, se tienen pozos para la colocación de seccionadores y registros para mantenimiento a lo largo de todo el campus.

Actualmente, la Red de Distribución 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 de Trabajo Social; por la Subestación General No. 3 ubicada en la avenida del IMAN zona cultural y por la Subestación General No. 4 que se localiza en el Instituto de Investigaciones Biomédicas.

Subestación	Tensión [kV]	Capacidad [kVA]	Alimentadores	Subestaciones Derivadas
Subestación General No. 1	**23/6**	**7 500**	**12**	**88**
Subestación General No. 2	**23/6**	**5 000**	**5**	**41**
Subestación General No. 3	**23**	**10 000**	**4**	**3**
Subestación General No. 4	**23**	**10 000**	**1**	1
TOTAL		**32 500**	**22**	**133**

TABLA 7. SUBESTACIONES GENERALES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

En este trabajo nos avocamos únicamente a las Subestaciones Generales No. 1 y No. 2, donde tenemos tensión de distribución de 6 kV.

V. 2 Descripción del equipo eléctrico de distribución existente.

V. 2. 1 Transformadores.



Figura 37. TRANSFORMADOR TIPO POZO

Transformador tipo pozo

Ubicación: Instituto de investigaciones Biomedicas

Marca: Tecnomasio Italiano

Capacidad: 500kVA

Tensiones: 6300-220/127 V



Figura 38. TRANSFORMADOR TIPO SUBESTACIÓN EN AIRE

Transformador tipo subestación en aire

Ubicación: Facultad de Arquitectura

Marca: IEM

Capacidad: 300kVA

Tensiones: 6000-220/127 V



Figura 39. TRANSFORMADOR TIPO PEDESTAL

Transformador tipo pedestal

Ubicación: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

Marca: ZETRAK

Capacidad: 500kVA

Tensiones: 6300-220/127 V



Figura 40. TRANSFORMADOR TIPO SUBESTACIÓN

Transformador tipo subestación

Ubicación: Relaciones Laborales

Marca: MEPISA

Capacidad: 225kVA

Tensiones: 23000-220/127 V



Figura 41. TRANSFORMADOR TIPO SUBESTACIÓN

Transformador tipo subestación

Ubicación: Facultad de Ciencias

Marca: ELMEX

Capacidad: 500 kVA

Tensiones: 6000-220/127 V



Figura 42. TRANSFORMADOR TIPO SUBESTACIÓN

Transformador tipo subestación

Ubicación: Facultad de Ciencias

Marca: VOLTRAN

Capacidad: 750 kVA

Tensiones: 6300-220/127 V



Figura 43. TRANSFORMADOR TIPO SUBESTACIÓN

Transformador tipo poste

Ubicación: Instituto de Ingeniería I y II

Marca: ALLIS-CHALMERS

Capacidad: 500 kVA

Tensiones: 6000-220/127 V

V. 2. 2 Subestaciones y sus componentes.



Figura 44. SUBESTACIÓN COMPACTA

Subestación Compacta

Marca: SQUARE D DE MËXICO

Cuchillas desconectadoras de operación en grupo exterior al gabinete.

Cortacircuitos en aire, marca. Westinghouse, tipo BA, 7.5 kV, 200 A, estilo 1305061

Porta fusible, marca. Westinghouse, tipo ba, 7.5 kV, 200 A, estilo 859198

Fusible de 65 A

Sección de acoplamiento en media tensión, 3h-4 AWG, distancia entre fases 15 cm.



Figura 45. PORTA FUSIBLES Y FUSIBLES



Figura 46. CORTACIRCUITOS EN AIRE



Figura 47. SUBESTACIÓN COMPACTA SERVICIO INTERIOR

Subestación Compacta Servicio Interior

Marca: IEM

Corta circuito en aire, marca Westinghouse, tipo BA, 7.5 kV, Imax 200 A, estilo 13050, BIL 75 kV.

Fusible para 7.2 kV, 65 A

Sección de acoplamiento en media tensión, una barra de cobre de 3.8 x 0.6 cm



Figura 48. COMPONENTES INTERNOS

V. 2. 3 Equipo de seccionamiento.



Figura 49. SECCIONADOR EN ACEITE

Seccionador en Aceite
Seccionador en Aceite MCA G&W ELECTRIC SPECIALITY CO. 3500 W 127 TH street 7.5 KV. 400 A. Con medidor de nivel de aceite. Serie: 783-568 RAM 4354.

V. 2. 4 Equipo de protección.



Figura 50. CORTACIRCUITOS EN ACEITE

Cortacircuitos en Aceite
Fusibles en pequeño volumen de aceite (boyas) Marca: Gómez Bustillos SA DE CV. Modelo: FC 5200 V 200 A. con listón fusible de 100A.

V. 2. 5 Conductores.



Figura 51. CONDUCTOR

Conductor
Conductor triplex de 350 kCM.

V. 2. 6 Ductos.



Figura 52. BANCO DE DUCTOS

Ductos
Banco de ductos, dos ductos de 4 in de diámetro, aloja un conductor triplex de 350 kCM.

V. 3 Evaluación de las condiciones de la Red Eléctrica y del estado físico del equipo eléctrico.

Para tener un panorama general de la condiciones actuales en que se encuentra la red de distribución subterránea en 6.6 kV de Ciudad Universitaria se realizaron recorridos a lo largo de los tramos que la componen inspeccionando los registros y pozos donde se encuentran los seccionadores, además de visitas a las subestaciones derivadas, en conjunto con el personal de mantenimiento de la Dirección General de Obras.

Los circuitos involucrados en esta evaluación fueron los correspondientes a la Subestación General No. 1 y a los circuitos de la Subestación General No. 2. El estudio se realizó a lo largo del año 2006 evaluando equipos como: cables, empalmes, terminales, seccionadores, interruptores, subestaciones y plantas de emergencia. A manera de resumen se enumeran algunas de las principales situaciones que reflejan el estado de la red eléctrica de Ciudad Universitaria.

- **Obra Civil**. Las condiciones de la obra civil de la red en su mayoría son aceptables, debido a que se tiene un buen mantenimiento, sin embargo se encontraron algunos problemas.

  Se tienen tapas de registro con la albañilería dañada o rota, algunas de las partes y tapas metálicas presentan oxidación, esto es grave ya que la caída de material dentro de los pozos puede ocasionar daño al equipo

eléctrico. La mayoría de las tapas de los pozos se encuentran en buen estado.

Algunos registros y pozos se encuentran inundados, además de que en la mayoría se encontraron desechos sólidos. Hay registros que se encuentran cubiertos por tierra e incluso por vegetación, lo que imposibilita su acceso, además se hallaron registros obstruidos por construcciones o mobiliario. Recientemente se ha instalado en la mayoría de los pozos una chimenea de ventilación, algunas de ellas en mal estado.

- **Conductores**. Los conductores que componen la red en su mayor parte consisten en cable Kerite de 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250 kCM en los troncales de la subestación 1 y de 350 kCM en el caso de la Subestación 2, además calibres 4AWG, 2AWG ,4/0 y 1/0 generalmente para los ramales de ambas subestaciones, la condición de este tipo de conductor es buena en su mayoría, sin embargo se encontraron cables deteriorados en algunas partes.

  No todos los cables ocupados en los empalmes entre los seccionadores y los transformadores de servicio son del mismo tipo (Kerite), ya que se encontraron cables de un solo conductor con aislamiento de PE (polietileno). Estos cables no presentan problemas inmediatos.

  Se encontraron cables con malos soportes y/o exceso de aceite en el piso del registro que puede ocasionar daño en el aislamiento del cable. Se observa poca preocupación para acomodar los cables dentro de los registros en la forma ortodoxa (pegados a las paredes del registro y colocados sobre soportes aislados). Los cables van directamente de un lado a otro del registro pasando por en medio del pozo con peligro de ser dañados por algún objeto pesado que pudiera caer dentro del pozo, por ejemplo las tapas.

Se hallaron terminales con falsos contactos, secciones con descargas por arco, aislamientos dañados o perforados, entre otros problemas. En la mayoría de los empalmes, la pantalla metálica no tiene conexión a tierra. En los cables trifásicos puede no ser importante, pero en cables monofásicos es imperativo sacar una conexión de la pantalla metálica del cable a tierra, para evitar accidentes o fallas.

No existe ningún elemento de identificación en los cables. No se sabe de donde vienen ni a donde van, ni su voltaje de operación ni su calibre. En caso de localización de fallas o libranzas para mantenimiento, la identificación de los cables es de vital importancia.

- **Seccionadores**. La inspección visual de estos equipos indicó muchos casos con fugas de material aislante de las terminales como también fugas de aceite en aquellas unidades equipadas con terminales del tipo aceite.

  Descargas parciales fueron detectadas solo en algunos de los seccionadores con fugas. Hay equipos que necesitan mantenimiento debido a la excesiva corrosión externa del tanque. Se carece de conexiones a tierra de las estructuras metálicas, y algunas presentan oxidación.

  La identificación de las terminales de los seccionadores, en muchos casos no es la adecuada o no existe, algunas fueron hechas a mano con un marcador, es importante una identificación correcta y segura para evitar problemas durante las libranzas y mantenimiento.

- **Subestaciones Derivadas**. Durante las visitas a las Subestaciones Derivadas se observaron las siguientes anomalías:
  Se encontraron cuartos de subestaciones que están siendo utilizados como bodegas, encontrando objetos como mobiliario, equipo de cómputo, papelería, instrumentos de limpieza entre otros. Algunas de las

subestaciones no tienen una señalización de advertencia en la entrada, e incluso algunas no se encuentran cerradas debidamente, un pequeño número de ellas tienen un complicado acceso, además algunas se encuentran en áreas de oficina.

La mayor parte del equipo eléctrico de las subestaciones se encuentra en buen estado, gracias al mantenimiento constante de éstas, sin embargo hay equipos que no están aterrizados correctamente, transformadores con fugas de aceite, o que carecen de placa de datos para su identificación. No todas las subestaciones cuentan con el equipo de seguridad necesario.

En resumen y tomando en cuenta que contamos con una instalación que lleva más de 50 años en operación, notamos que hay situaciones que requieren de una atención inmediata, pues podrían provocar fallas y accidentes graves. Lo más conveniente es realizar una renovación de gran parte del equipo, pues algunos de ellos ya rebasan su tiempo de vida, y podrían presentar fallas inesperadas, además de que muchos de ellos ya no se encuentran en operación óptima y son difíciles de reparar pues ya no se encuentran las refacciones.

V. 4 Subestación General No. 1.

En este capítulo se realiza un análisis detallado de los alimentadores que conforman esta subestación, exceptuando los alimentadores B, C, D y E, debido a que suministran energía al Estadio Olímpico y tienen un baja utilización porque operan solo cuando se llevan a cabo eventos en dicho recinto.

Con el fin de realizar una comparativa entre los distintos tipos de cargas con que cuenta Ciudad Universitaria como son institutos de investigación, Facultades de estudios superiores y áreas deportivas, se seleccionaron los alimentadores H, F y A que están compuestos en su mayoría por dichas cargas, respectivamente, se llevó a cabo un análisis diario, semanal y anual del

comportamiento de la demanda. Para los alimentadores restantes se elaboró sólo el análisis anual, ya que es el más representativo.

Años de Operación: 52 años. La subestación comenzó su operación en 1954 con una capacidad de 5 MVA, los transformadores actuales fueron instalados alrededor de 1970 aumentando la capacidad a 7.5 MVA.

Ubicación: Al norte de Ciudad Universitaria, detrás de la Facultad de Psicología.

Plano.

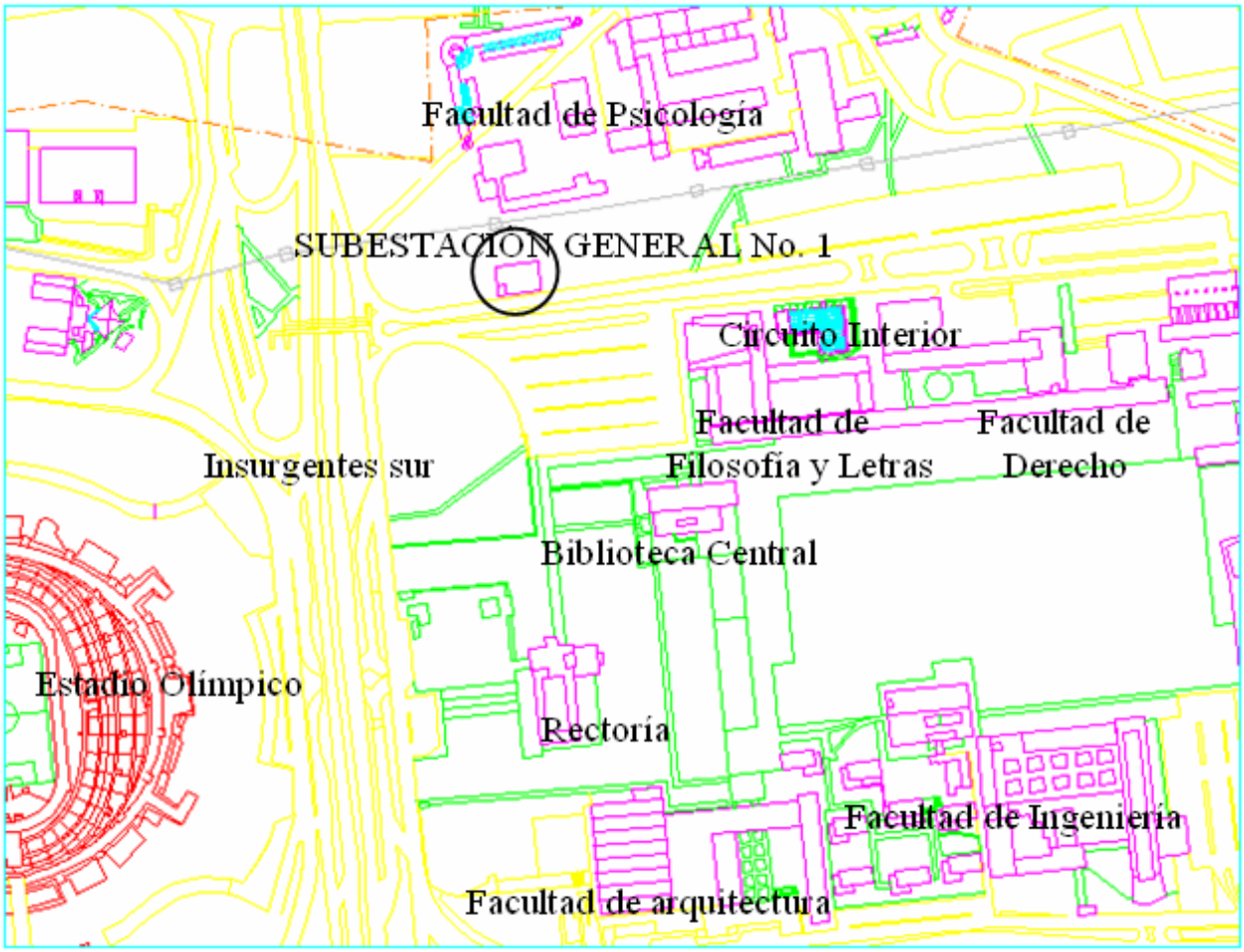


FIGURA 53. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

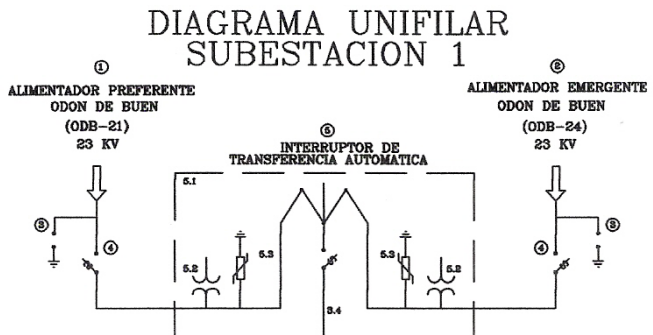


DIAGRAMA 12. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Configuración.

- **Acometida.**

  Se tienen dos alimentadores trifásicos a 23 kV con conductores 3H-23 PT-1X240, marca Condumex, provenientes de la Subestación de

Luz y Fuerza del Centro “Odón de Buen y Lozano “,uno preferente y otro emergente, controlados por un interruptor de transferencia automático marca G&W, de 400 A.

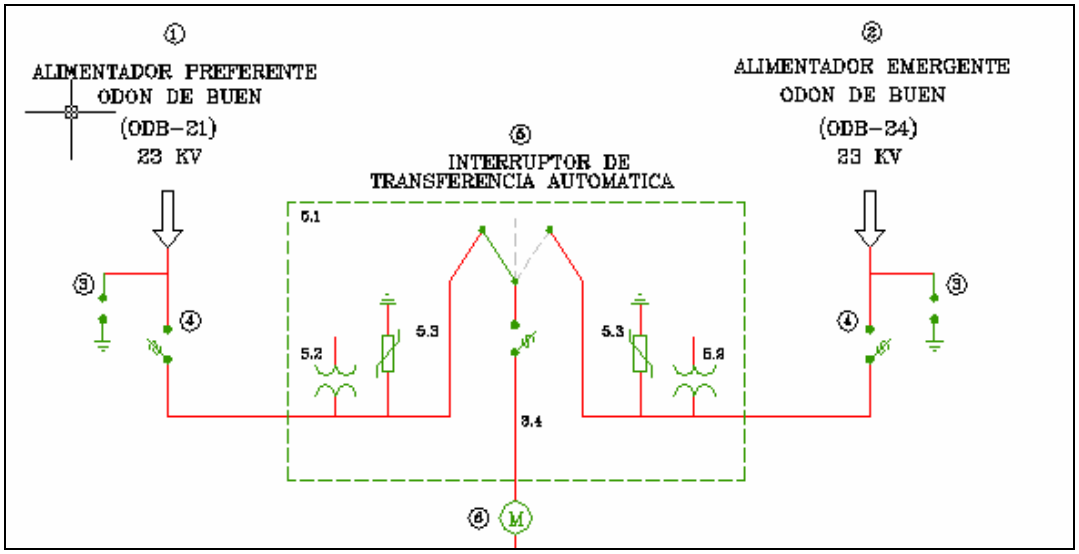


DIAGRAMA 13. ACOMETIDA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

- **Transformadores.**

  La Subestación está integrada por dos transformadores trifásicos sumergidos en aceite marca IEM, con las siguientes características:

- Capacidad: 7500/9375 kVA
- Tensión: 23/6 kV
- Configuración: Delta-Estrella
- Derivaciones : +/- 2 al 2.5%
- Enfriamiento: OAFA

  La operación consiste en tener uno de los dos transformadores conectado, mientras el otro está de reserva en caso de falla, cada transformador está conectado la mitad del año.

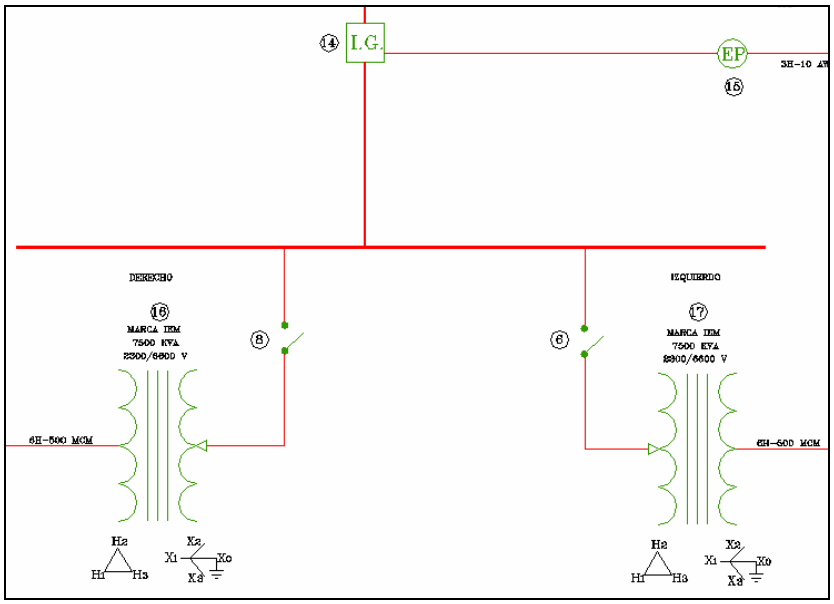


DIAGRAMA 14. TRANSFORMADORES DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

- **Alimentadores Derivados.**

  Cuenta con 12 Alimentadores derivados a una tensión de 6 kV, cada uno controlado por un interruptor electromagnético trifásico de 1200 A, tipo mecánico, marca Westinghouse, conectados a una barra general con amarre a ambos transformadores.

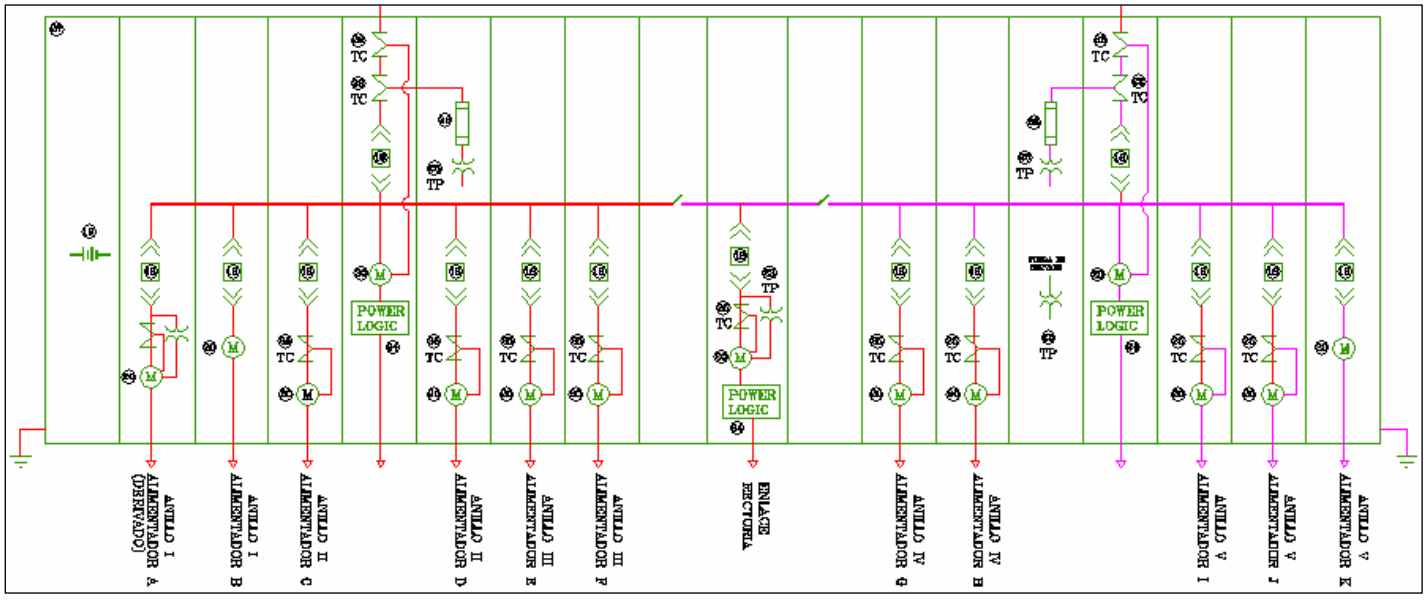


DIAGRAMA 15. ALIMENTADORES DERIVADOS DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

De los doce alimentadores se forman 5 circuitos de distribución en configuración de anillo, un alimentador radial y un circuito de enlace con

la Subestación General No. 2 de Ciudad Universitaria. A continuación se mencionan sus características principales:

Anillo	Longitud [km]	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo I	**3.53**	**10**	**3875**
Circuito A	2.452	8	2675
Circuito B	1.078	2	1200
Anillo II	**2.467**	**5**	**3600**
Circuito C	1.391	3	1800
Circuito D	1.076	2	1800
Anillo III	**5.838**	**15**	**4800**
Circuito E	0.96	1	750
Circuito F	4.878	14	4050
Anillo IV	**7.742**	**31**	**12237.5**
Circuito G	4.784	18	7437.5
Circuito H	2.958	13	4800
Anillo V	**5.18**	**24**	**7375**
Circuito I	2.972	13	4287.5
Circuito J	2.208	11	3087.5
Circuito K	**0.432**	**3**	**1225**
TOTAL	**25.189**	**88**	**33112.5**

TABLA 8. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

V. 4. 1 Anillo I.

Alimentadores. Está formado por los alimentadores A y B.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo I	**3.53**	**5**	**10**	**3875**
Alimentador A	2.452	3	8	2675
Alimentador B	1.078	2	2	1200

TABLA 9. ANILLO 1 DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Punto abierto. Se encuentra abierto entre el seccionador 3AB y 2BA.

V. 4. 1. 1 Alimentador A.

Diagrama unifilar.

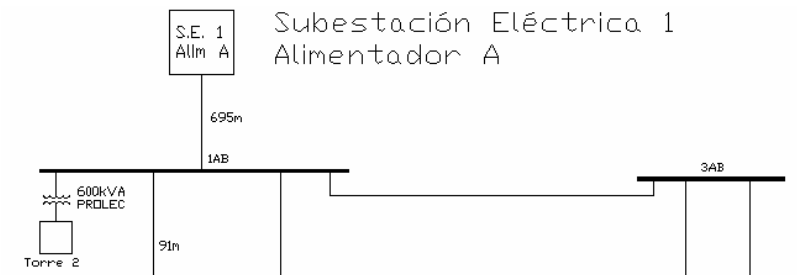


DIAGRAMA 16. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “A”

Plano.

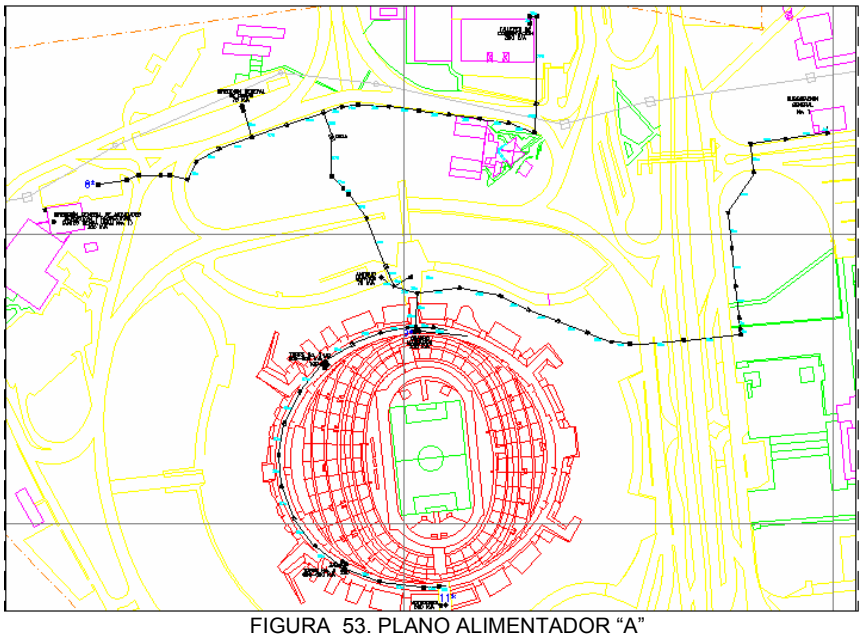


FIGURA 53. PLANO ALIMENTADOR “A”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El circuito A se compone de 3 Seccionadores y 8 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1AB	**900**
Torre 2	600
Cuadro Marcador	225
Antiguo Maratón	75
2A	**675**
Talleres de Conservación	300
DGO	75
DGADR	300
3AB	**1100**
Torre 3	600
Vestidores	500
TOTAL	**2675**

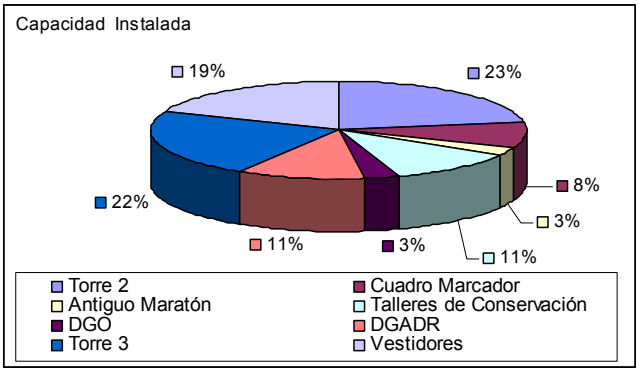


TABLA 10. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "A"

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del Circuito A es de 2.6 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
Alim. a 1AB	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.695	0.114
1AB a C.Marcador	1H - 3Φ - 250kCM	0.982	0.091	0.089
1AB a Torre2	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
A. Maratón a 1AB	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.375	0.061
2A a A. Maratón	3H - 1Φ - 4AWG	0.982	0.173	0.170
2A a Tall. Conserv	3H - 1Φ - 4AWG	0.982	0.359	0.352
2A a D.G.O.	3H - 1Φ - 4AWG	0.982	0.128	0.126
2A a DGADR	3H - 1Φ - 4AWG	0.982	0.307	0.301
1AB a 3AB	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.216	0.035
3AB a Torre3	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.015	0.002
3AB a Vestidores	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.083	0.014

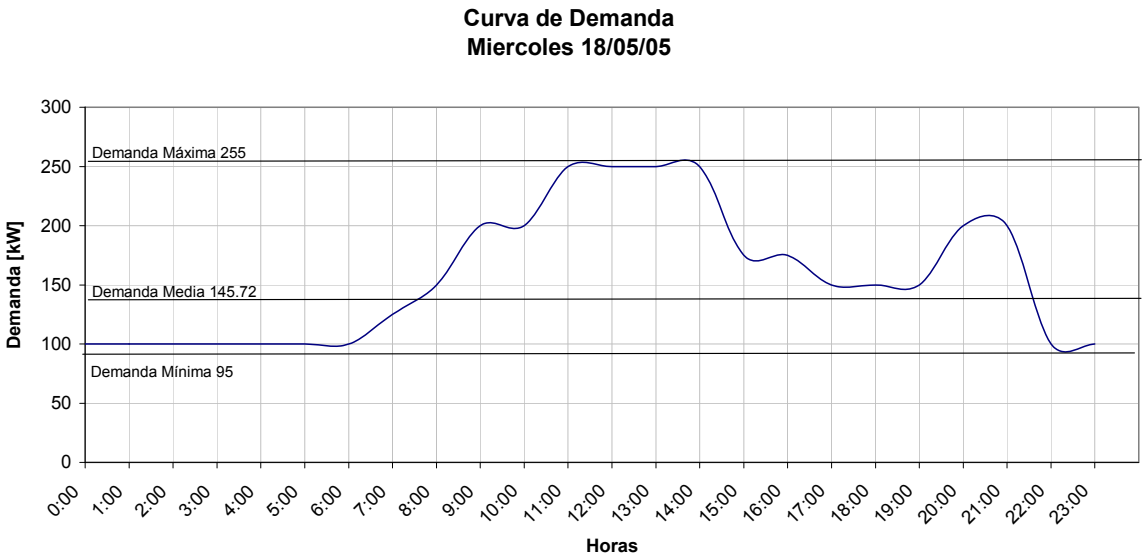
TABLA 11. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR "A"

Análisis de carga y demanda.

Análisis del consumo. Se realizó un monitoreo de la demanda de potencia a lo largo del año 2005, de donde obtuvimos los datos necesarios para realizar un estudio representativo. Este estudio representativo, considera tres casos: alimentador del estadio, alimentador de institutos y alimentador de facultades.

- **En un día.** Se analizarán dos casos, un día ordinario dentro del ciclo escolar y un caso especial en el que se tienen actividades en el Estadio Olímpico.

CASO 1. Día ordinario dentro del ciclo escolar.



GRAFICA 1. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR "A"

La curva nos muestra el perfil de demanda durante el día, donde podemos percatarnos que desde las 00:00 horas hasta las 6:00 hrs., se tiene una carga constante de 100 kW que se debe a la carga por iluminación, a partir de esta hora la demanda incrementa rápidamente hasta un pico de 255 kW que se alcanza entre las 11:00 y las 14:00 horas, esto es debido al comienzo de labores en la universidad, alimentando equipos de cómputo, iluminación y aire acondicionado principalmente. La demanda comienza a disminuir por la hora de comida y terminación de turno, vuelve a tener un incremento de las 19:00 a las 22:00 horas de cerca de 70 kW debido a la necesidad de iluminación, regresa al valor de 100kW alrededor de las 23:00 horas en que se

concluyen actividades. De la gráfica obtuvimos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 255 kW
- **Demanda Promedio:** 145.72 kW
- **Demanda Mínima:** 95 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describen el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{145.72}{255} = 0.5714$$

El factor de carga indica que en poco más de la mitad del intervalo, en este caso 24 horas, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 57.14%.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{255}{2675} = 0.095$$

El factor de demanda nos indica que el 9.5% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{255}{7500} = 0.034$$

El factor de utilización nos dice que el 3.4% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima de este.

4. **Demandas Máximas Individuales**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Torre 2	35
Cuadro Marcador	23
Antiguo Maratón	20
Talleres de Conservación	80
DGO	60
DGADR	58
Torre 3	26
Vestidores	20
TOTAL	**322**

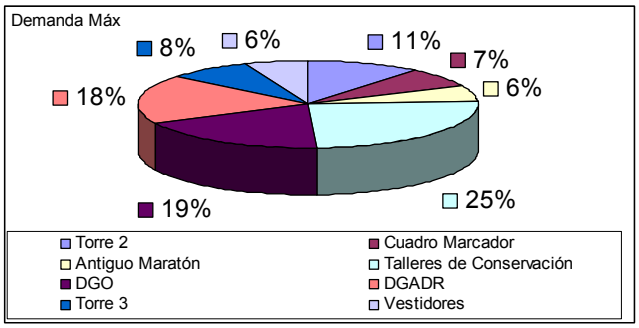


TABLA 12. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "A" PARA UN DÍA ORDINARIO

5. **La demanda máxima no coincidente será:**

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{322}{8} = 40.25 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga,

6. **El factor de coincidencia es:**

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{255}{322} = 0.7919$$

Con este valor podemos decir que el 79.19 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. **Factor de Pérdidas**

$$FPe1 = 0.3Fc + 0.7FC^2 = \quad 0.412806797$$
$$FPe2 = 0.4Fc + 0.6FC^2 = \quad 0.437118128$$

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.43, este valor no es muy alto

ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo debido a que se tiene un periodo de análisis corto.

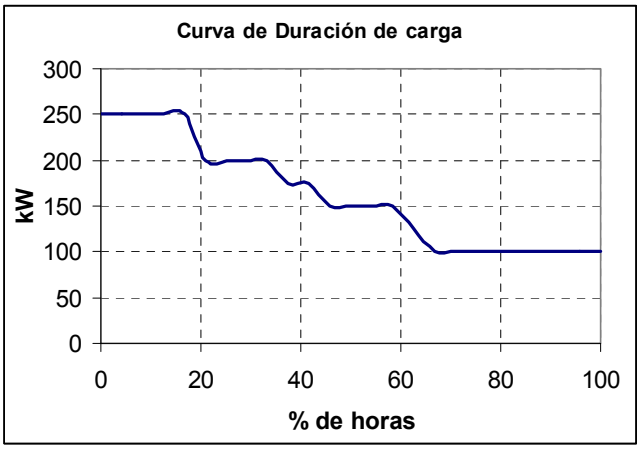
8. Energía Total Consumida

3497.916667 kW/hr/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
250	4	16.6666667	16.6666667
200	4	16.6666667	33.3333334
175	2	8.33333333	41.6666667
150	4	16.6666667	58.3333334
125	1	4.16666667	62.5000001
100	9	37.5	100
Total	**24**	**100**	

TABLA 13. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA EN UN DÍA ORDINARIO PARA EL ALIMENTADOR "A"



GRAFICA 2. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR "A"

En la gráfica de duración de carga observamos que apenas un 20% del periodo de análisis se maneja la carga máxima, y cerca del 30% se tiene con demanda mínima, el pico de demanda exige tener una mayor capacidad instalada de casi el doble de la demanda promedio.

10. Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [?]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas		Io	Io2	RIo2 [W]
					λ	λ1/2			
Alim. a 1AB	0.114			35.912	0.437	0.661	23.743	563.728	64.030
1AB a C.Marcador	0.089	23	0.900	2.459	0.437	0.661	1.626	2.643	0.236
1AB a Torre2	0.002	35	0.900	3.742	0.437	0.661	2.474	6.121	0.010
A. Maratón a 1AB	0.061			24.793	0.437	0.661	16.392	268.683	16.466
2A a A. Maratón	0.170	20	0.900	2.138	0.437	0.661	1.414	1.999	0.339
2A a Tall. Conserv.	0.352	80	0.800	9.623	0.437	0.661	6.362	40.472	14.265
2A a D.G.O.	0.126	60	0.940	6.142	0.437	0.661	4.061	16.489	2.072
2A a DGADR	0.301	58	0.810	6.890	0.437	0.661	4.555	20.751	6.255
1AB a 3AB	0.035			4.918	0.437	0.661	3.252	10.573	0.373
3AB a Torre3	0.002	26	0.900	2.780	0.437	0.661	1.838	3.378	0.008
3AB a Vestidores	0.014	20	0.900	2.138	0.437	0.661	1.414	1.999	0.027
								SUMA	**104.083**

TABLA 14. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “A” PARA 6000 V

Las pérdidas totales en el circuito: 0.104 kW.

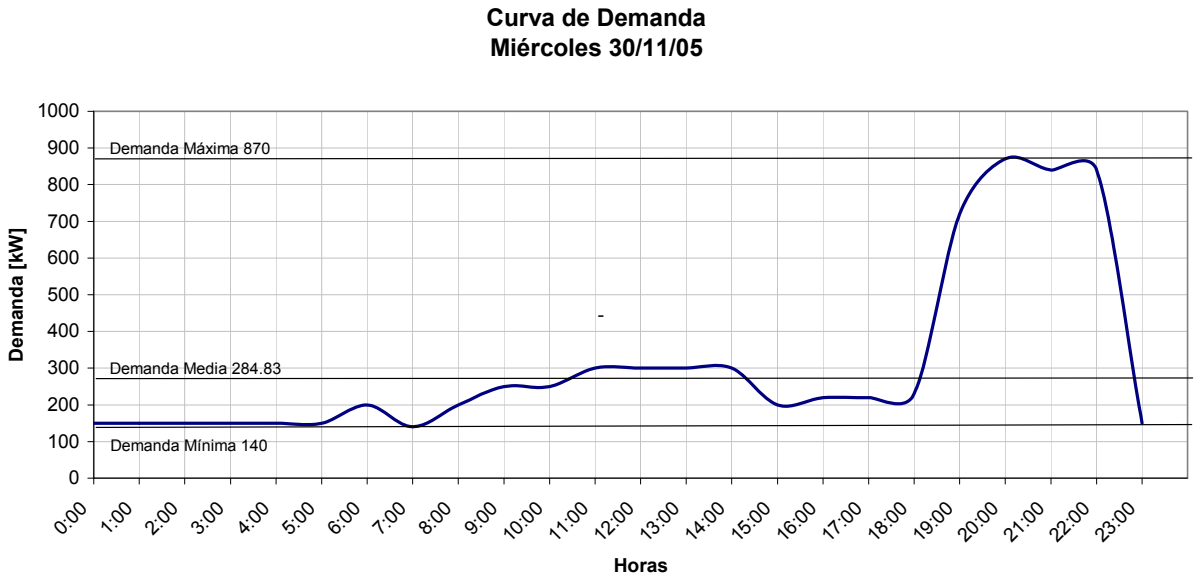
Las pérdidas totales en el circuito es este día: 2.496 kW/hr/día

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.437 \times 24 \text{ hrs.} = 10.48 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 10.48 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

CASO 2. Día de actividades en el Estadio Olímpico



GRAFICA 3. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR "A"

El perfil de carga nos muestra una carga constante por la madrugada causada por la iluminación, hay un pequeño incremento a las 6 de la mañana debido al inicio de actividades ya que el amanecer se da hasta cerca de las 7, a partir de aquí comienza un incremento paulatino hasta un pico a las 12:00 hrs. del día, que permanece constante por 3 horas, originado por las necesidades de los trabajadores, la carga disminuye por la tarde, por el cese de labores. La curva tiene comportamiento especial con un pico alto con una duración de casi 5 horas, por la noche, esto es debido a la carga por iluminación que requiere el Estadio Olímpico cuando se tiene un evento nocturno, en este caso un partido de fútbol. Se puede apreciar que es una carga considerable de más de 600 kW, casi tres veces la demanda promedio.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 870 kW.
- **Demanda Promedio:** 264.83 kW.
- **Demanda Mínima:** 140 kW.

Con estos valores calculamos los factores que nos describen el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

El factor de carga nos indica un pico muy alto de poca duración, un 30% del periodo de análisis, en este caso un día.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{870}{2675} = 0.3252$$

El factor de demanda muestra que más del 30% de la capacidad instalada del circuito está siendo utilizado durante el pico de carga.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{870}{7500} = 0.116$$

En el momento de la carga máxima del circuito, se está utilizando un 11.6% de la capacidad total de la Subestación General No. 1.

4. Demandas Máximas Individuales

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Torre 2	240
Cuadro Marcador	90
Antiguo Maratón	23
Talleres de Conservación	140
DGO	58
DGADR	45
Torre 3	300
Vestidores	300
TOTAL	**1196**

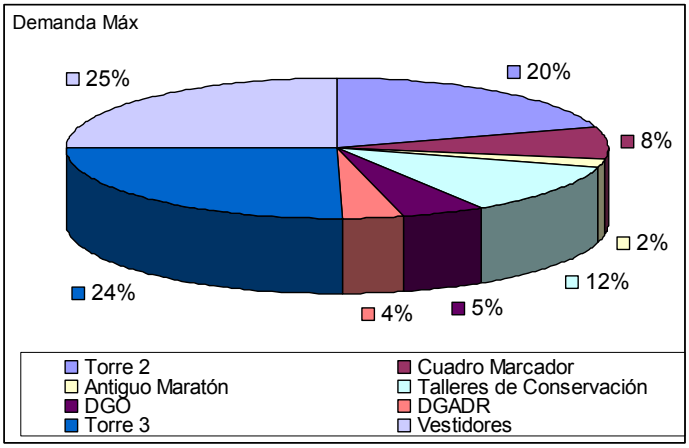


TABLA 15. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "A" PARA UN DÍA EXTRAORDINARIO

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{1196}{8} = 149.5$$

El promedio de demanda máxima de las cargas es de 149.5 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{870}{1196} = 0.7274$$

El factor de coincidencia es de 72.74% que nos indica que la mayor parte de la carga es coincidente en el pico de carga, esto es debido a las cargas del estadio: vestidores, cuadro marcador y las torres 2 y 3 de iluminación.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3Fc + 0.7FC^2 = 0.1732$$
$$FPe2 = 0.4Fc + 0.6FC^2 = 0.1952$$

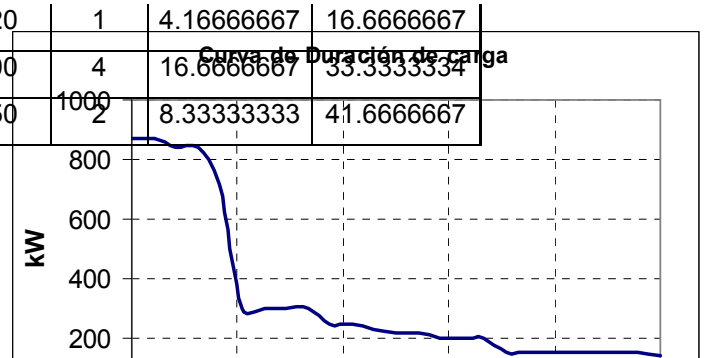
El factor pérdidas se ve afectado por el pico de poca duración, que disminuye el factor de carga y por lo tanto el factor de pérdidas es menor, ya que se tiene un valor muy alto de demanda comparado con la demanda promedio.

8. Energía Total Consumida

6355.92 kW/hr/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
870	1	4.16666667	4.16666667
840	2	8.33333333	12.5
720	1	4.16666667	16.6666667
300	4	16.6666667	33.3333334
250	2	8.33333333	41.6666667



230	1	4.16666667	45.8333334
220	2	8.33333333	54.1666667
200	3	12.5	66.6666667
150	7	29.1666667	95.8333334
140	1	4.16666667	100
TOTAL	**24**	**100**	

GRAFICA 4. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR "A"

De la curva cabe destacar que sólo un 16% del tiempo se tiene una demanda mayor a 720 kW, con lo que se tiene un gran desperdicio de capacidad instalada la mayor parte del tiempo.

10. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
Alim. a 1AB	0.114			163.863	0.575	0.758	124.211	15428.357	1752.412
1AB a C.Marcador	0.089	110	0.90	11.761	0.575	0.758	8.915	79.476	7.101
1AB a Torre2	0.002	270	0.90	28.868	0.575	0.758	21.882	478.827	0.783
A. Maratón a 1AB	0.061			52.669	0.575	0.758	39.924	1593.945	97.686
2A a A. Maratón	0.170	53	0.90	5.667	0.575	0.758	4.295	18.450	3.134
2A a Tall. Conserv.	0.352	210	0.80	25.259	0.575	0.758	19.147	366.602	129.216
2A a D.G.O.	0.126	101	0.94	10.339	0.575	0.758	7.837	61.422	7.719
2A a DGADR	0.301	96	0.81	11.404	0.575	0.758	8.645	74.732	22.526
1AB a 3AB	0.035			70.565	0.575	0.758	53.490	2861.141	101.000
3AB a Torre3	0.002	330	0.90	35.283	0.575	0.758	26.745	715.285	1.753
3AB a Vestidores	0.014	330	0.90	35.283	0.575	0.758	26.745	715.285	9.703
								SUMA	2133.032

TABLA 16. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "A" PARA 6000 V EN UN DIA EXTRAORDINARIO.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.515 kW/hr

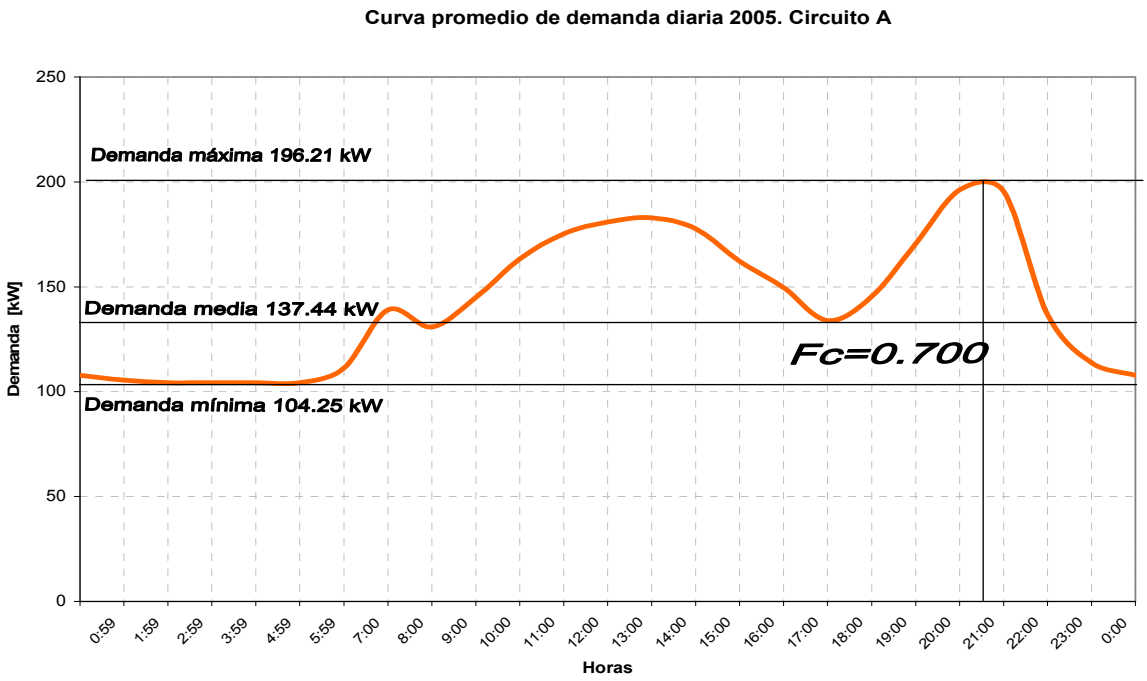
Las pérdidas totales en el circuito por día: 12.36 kW/hr/día

NOTA. Ver Anexo I para metodología de cálculo de pérdidas en conductores.

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.195 \times 24 \text{ hrs.} = 4.68 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 4.68 hrs de operación del circuito con demanda máxima.



GRAFICA 5. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA EL ALIMENTADOR "A"

CASO 3. Promedio de demanda diaria durante un año.

La curva nos muestra el perfil de demanda promedio de todos los días del año 2005 del alimentador A, su comportamiento es constante desde las 23:00 hasta las 5:00 am, con una carga de 104.24 kW debido a que esas horas no hay actividad en la Universidad, y sólo hay consumo por iluminación de la vía pública. Con el comienzo de actividades de los trabajadores que requieren de iluminación del interior de los edificios, la carga disminuye y vuelve a incrementar hasta las 13:00 horas con un pico de 185 kW ,que alimenta la carga requerida por los estudiantes y trabajadores para sus labores diarias a lo largo del año. La demanda disminuye por la tarde por el horario de comida y cese de actividades. Se tiene la demanda máxima promedio del año alrededor de las 21:00 horas, pues el pico refleja la gran demanda que se tiene con el uso del estadio en este horario, en que generalmente se realizan los partidos de fútbol, que aunque no es una carga constante es representativa, como apreciamos en el caso 2.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 196.21 kW
- **Demanda Promedio:** 137.44 kW
- **Demanda Mínima:** 104.24 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga:**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{137.44}{196.21} = 0.7004$$

El factor de carga nos dice que el 70% del promedio de demanda anual permanece el un pico de demanda mayor a 160 kW.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{196.21}{2600} = 0.0754$$

El factor de demanda muestra que el 7.54% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima promedio anual.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{196.21}{7500} = 0.0261$$

Tenemos que el 2.61% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima promedio anual.

4. **Demandas Máximas Promedio Individuales**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Torre 2	240
Cuadro Marcador	90
Antiguo Maratón	43
Talleres de Conservación	190
DGO	81
DGADR	76
Torre 3	300
Vestidores	300
TOTAL	**1320**

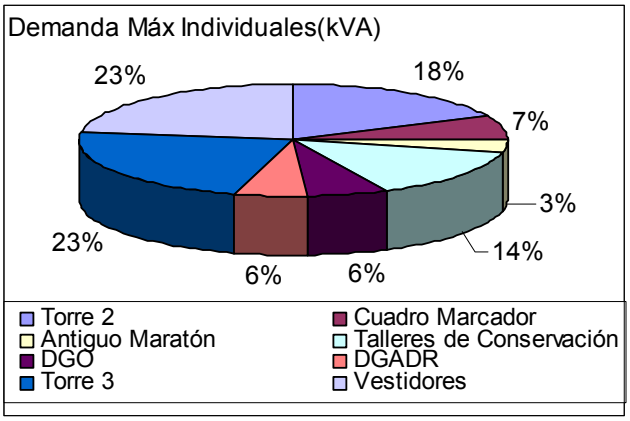


TABLA 17. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "A" EN UN AÑO PROMEDIO

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{1320}{8} = 165\,\text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga en el momento del pico de demanda, en este caso es de 165 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{196.21}{1320} = 0.1486$$

Con este valor podemos decir que apenas el 14.86 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.5535$$
$$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.5744$$

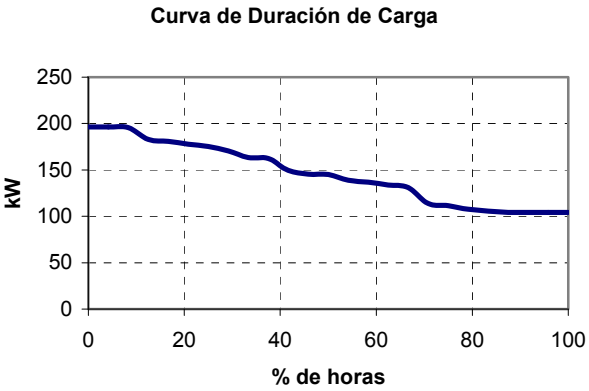
Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.5744, este valor se utiliza para el cálculo de pérdidas por efecto Joule.

8. Energía Total Consumida promedio

3298.63673 kW/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
>180	5	20.833335	20.833335
>130 y <160	5	20.833335	41.66667
>100 y <130	7	29.166669	70.833339
>100	7	29.166669	100.000008
Total	**24**	**100.00**	



GRAFICA 6. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DURANTE UNA AÑO PROMEDIO DEL ALIMENTADOR "A"

En la gráfica de duración de carga observamos más del 50% del tiempo se tiene una demanda por arriba de la demanda promedio, esto indica que se tiene un aprovechamiento regular de la capacidad instalada, dado que las demandas altas se presentan durante más tiempo que las mínimas.

10. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas		Io	Io2	RIo2 [W]
					λ	λ1/2			
Alim. a 1AB	0.114			144.204	0.575	0.758	109.309	11948.483	1357.155
1AB a C.Marcador	0.089	90	0.90	9.623	0.575	0.758	7.294	53.203	4.753
1AB a Torre2	0.002	240	0.90	25.660	0.575	0.758	19.451	378.333	0.618
A. Maratón a 1AB	0.061			44.771	0.575	0.758	33.937	1151.744	70.585
2A a A. Maratón	0.170	43	0.90	4.597	0.575	0.758	3.485	12.145	2.063
2A a Tall. Conserv.	0.352	190	0.80	22.853	0.575	0.758	17.323	300.098	105.776
2A a D.G.O.	0.126	81	0.94	8.292	0.575	0.758	6.285	39.505	4.965
2A a DGADR	0.301	76	0.81	9.029	0.575	0.758	6.844	46.837	14.118
1AB a 3AB	0.035			64.150	0.575	0.758	48.627	2364.579	83.471
3AB a Torre3	0.002	300	0.90	32.075	0.575	0.758	24.313	591.145	1.449
3AB a Vestidores	0.014	300	0.90	32.075	0.575	0.758	24.313	591.145	8.019
								SUMA	1652.971

TABLA 18. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “A” PARA 6000 V EN UN AÑO PROMEDIO.

Las pérdidas totales promedio en el circuito por hora: 1.6529 kW-hr

Las pérdidas totales promedio en el circuito es este día: 39.6713 kW-hr/día

Las pérdidas totales promedio en el circuito: 14480.0274 kW-hr/año

11. Horas equivalentes:

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.574 \times 24 \text{ hrs.} = 13.776 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 13.776 hrs de operación del circuito con demanda máxima promedio anual.

Conclusiones del análisis en un año promedio.

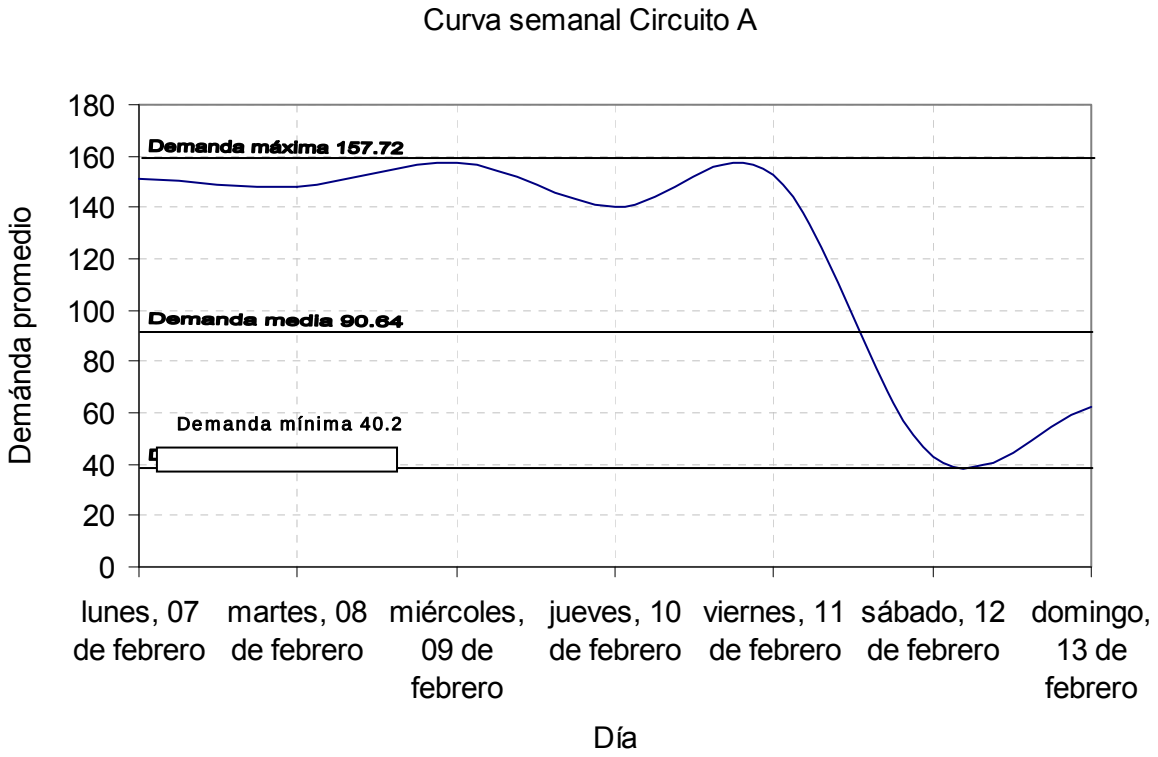
Con el planteamiento de estos casos cabe destacar las principales diferencias entre ellos, por ejemplo, en el primer caso el factor de carga es mayor ya que se tiene un comportamiento más constante de la demanda, a diferencia del segundo caso en el que el factor disminuye ante la presencia del pico provocado por la carga del estadio, sin embargo en el caso tres el factor de carga es aún mayor pues al realizar el promedio anual, tenemos un mayor tiempo de evaluación y por lo tanto una carga más constante que se ve reflejado en el aumento del factor de carga.

La demanda mínima del segundo caso es ligeramente mayor a la del primero debido al incremento de iluminación que comienza con el mes de diciembre, en el caso promedio la carga es intermedia reflejando cargas constantes durante todo el año, debidas a la iluminación nocturna, como podemos ver en las tres gráficas. La energía consumida aumenta casi al doble para el segundo caso.

La factor de demanda y el factor de utilización, incrementan considerablemente en el segundo caso respecto del primero debido a que se tiene una demanda máxima mucho mayor que en un día normal de actividades, sin embargo los factores de coincidencia son muy parecidos en ambos casos, esto es porque en cada uno de los picos se tiene sus correspondientes cargas coincidentes.

El factor de pérdidas es más alto en el primer caso, ya que se tiene un factor de carga mayor, sin embargo las pérdidas son menores en el caso ordinario, esto es debido a que la demanda máxima es mucho mayor en el segundo caso, con esto podemos concluir que las pérdidas totales no necesariamente incrementaran con el factor de pérdidas. Además al comparar el dato de horas equivalentes, nos damos cuenta que en segundo caso se tiene una gran cantidad de pérdidas durante el pico, mientras que en el primer caso no se tiene ese problema. Comparando con el caso 3 tenemos un factor de pérdidas más alto, debido a un factor de carga, que como habíamos mencionado aumenta al considerar el promedio anual, con lo que las pérdidas son mayores.

- Análisis Semanal



GRAFICA 7. CURVA DE DEMANDA SEMANAL DEL ALIMENTADOR "A"

En la gráfica tenemos representado un perfil de carga semanal, en el cual podemos ver la variación de demanda promedio para cada uno de los días. De lunes a viernes tenemos una carga uniforme, que disminuye el jueves y aumenta el viernes, el fin de semana disminuye más de un 70%, el domingo se tiene un incremento respecto al sábado, ya que se realizan actividades en el Estadio Olímpico.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

1. **Demanda Máxima:** 157.72 kW
2. **Demanda Promedio:** 90.64 kW
3. **Demanda Mínima:** 40.2 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. Factor de Carga

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{90.64}{157.72} = 0.5746$$

El factor de carga indica que poco más de la mitad del intervalo, en este caso 24 horas, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 57.46%.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{157.72}{2600} = 0.060$$

El factor de demanda nos indica que el 6.0% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima, en este caso el viernes.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{157.72}{7500} = 0.021$$

El factor de utilización nos dice que el 2.1% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima de este.

4. Demandas Máximas Individuales

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Torre 2	29
Cuadro Marcador	19
Antiguo Maratón	20
Talleres de Conservación	85
DGO	63
DGADR	56
Torre 3	25
Vestidores	22
TOTAL	**319**

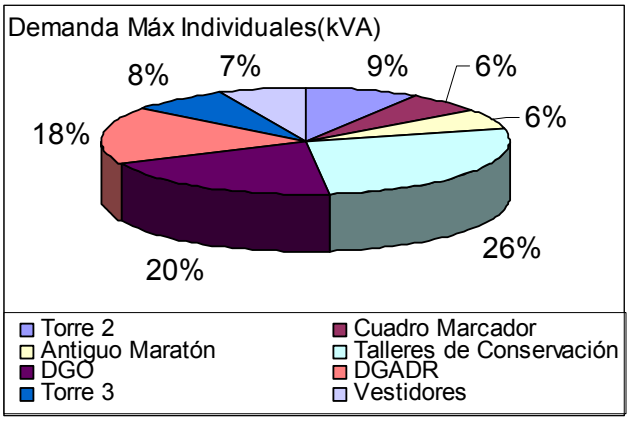


TABLA 19. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "A" SEMANAL

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{319}{8} = 39.87\ \text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso es de 39.87.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{157.72}{319} = 0.4944$$

Con este valor podemos decir que el 49.44 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = \quad 0.4034$$

$$FPe2= \ 0.4FC + 0.6FC^2 = \qquad 0.4279$$

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.4279, este valor no es muy alto ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo debido a que se consideran las demandas promedio para cada día.

8. Energía Total Consumida

15228.373 kW/semana

9. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas encontrados para esta semana:

TRAMO	R [?]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6.6kV	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
Alim. a 1AB	0.114			32.383	0.428	0.654	21.183	448.715	50.967
1AB a C.Marcador	0.089	19	0.900	1.847	0.428	0.654	1.208	1.459	0.130
1AB a Torre2	0.002	29	0.900	2.819	0.428	0.654	1.844	3.400	0.006
A. Maratón a 1AB	0.061			23.149	0.428	0.654	15.143	229.303	14.053
2A a A. Maratón	0.170	20	0.900	1.944	0.428	0.654	1.272	1.617	0.275
2A a Tall. Conserv.	0.352	85	0.800	9.294	0.428	0.654	6.080	36.965	13.029
2A a D.G.O.	0.126	63	0.940	5.863	0.428	0.654	3.835	14.708	1.848
2A a DGADR	0.301	56	0.810	6.048	0.428	0.654	3.956	15.651	4.717
1AB a 3AB	0.035			4.568	0.428	0.654	2.988	8.930	0.315
3AB a Torre3	0.002	25	0.900	2.430	0.428	0.654	1.590	2.527	0.006
3AB a Vestidores	0.014	22	0.900	2.138	0.428	0.654	1.399	1.957	0.027
								SUMA	**85.373**

TABLA 20. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “A” PARA 6000 V EN UNA SEMANA.

Las pérdidas totales en el circuito por hora: 0.085019 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito es este día: 2.04 kW/hr/día.

Las pérdidas totales por semana: 14.2831 Kw/hr/semana.

10. Horas equivalentes

$$HE= FPe \times \Delta t = 0.428 \times 24 \text{ hrs.} = 10.272 \text{ hrs.}$$

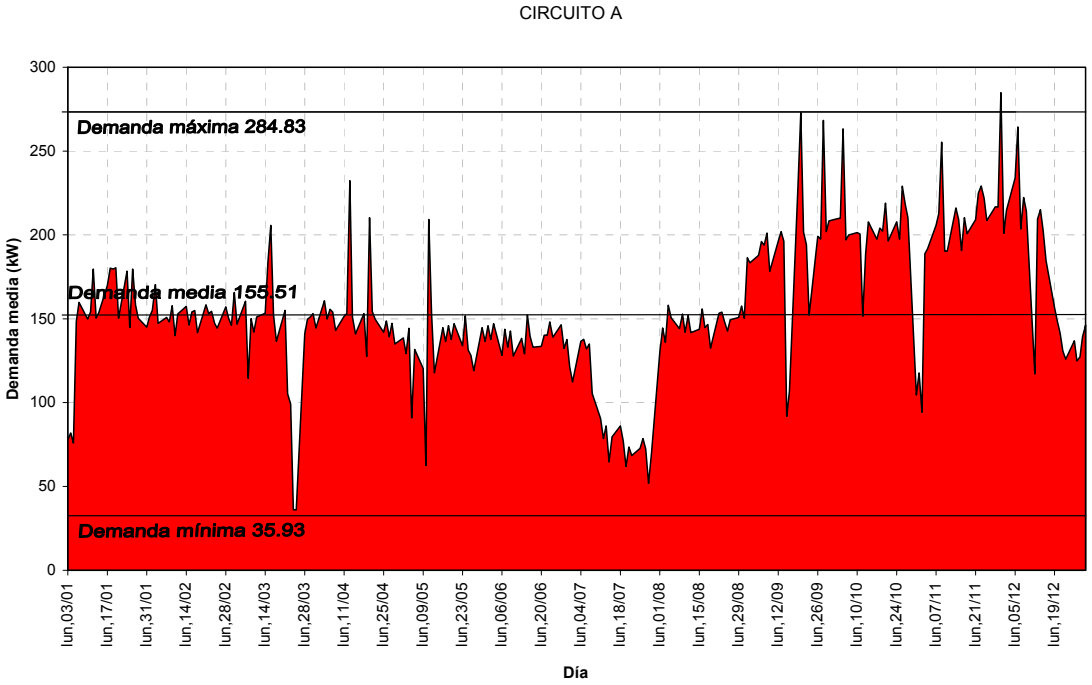
Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 10.272 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del análisis semanal

Con el análisis de un perfil de carga semanal, obtenemos un factor de carga semanal, que curiosamente, coincide con el factor de carga obtenido en un día ordinario del año, por lo que el factor de pérdidas, el factor de coincidencia y el factor de utilización son muy similares, esto es porque las gráficas tienen un comportamiento similar, es decir, se tiene una demanda más o menos constante a lo largo del día o la semana, que disminuye considerablemente por la noche o el fin de semana.

Hay que considerar que los valores tomados para la realización de la gráfica fueron los promedios diarios, por lo que no se aprecia exactamente los picos de demanda máxima, si no más bien los cambio de demanda promedio entre un día y otro, es por eso que el factor de coincidencia no es representativo en este caso.

- Análisis Anual



GRAFICA 8. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL ALIMENTADOR “A”

En la gráfica anterior tenemos el perfil de carga para un año, decidimos omitir los valores correspondientes a los fines de semana, pues la carga disminuye considerablemente, concentrando el análisis en la carga a lo largo de las semana.

La curva nos muestra una demanda constante durante la primera mitad del año, exceptuando algunos valles pronunciados debidos a días de asueto como son semana santa o el 10 de mayo y algunos picos, provocados por los partidos nocturnos realizados en el Estadio Olímpico.

Se puede apreciar un valle en el centro de la gráfica que representa el periodo de vacaciones de verano. Con el inicio de labores administrativas se tiene un incremento brusco de demanda, fenómeno que se repite con el inicio de las clases. Es notorio que durante la segunda mitad del año el consumo promedio es mayor debido a que las noches cada vez son más largas y al uso de aire acondicionado. También se pueden notar valles importantes debidos a días de asueto como el día de la independencia, día de muertos o el 12 de diciembre y picos de carga originados por la carga del Estadio. Al final del año la carga disminuye por la terminación del ciclo escolar.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 284.83 kW
- **Demanda Promedio:** 155.51 kW
- **Demanda Mínima:** 35.93 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{155.51}{284.83} = 0.5459$$

El factor de carga indica que más de la mitad del año se mantiene una carga mayor a la promedio, es una eficiencia baja y que se explica por los periodos de vacaciones y las temporadas del año.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{284.83}{2600} = 0.10955$$

El factor de demanda nos indica que el 10.95% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{284.83}{7500} = 0.037$$

El factor de utilización nos dice que el 3.7% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima de este.

4. Demandas Máximas Individuales

Subestación	Demanda Máx (kW)
Torre 2	270
Cuadro Marcador	110
Antiguo Maratón	53
Talleres de Conservación	210
DGO	101
DGADR	96
Torre 3	330
Vestidores	330
TOTAL	**1500**

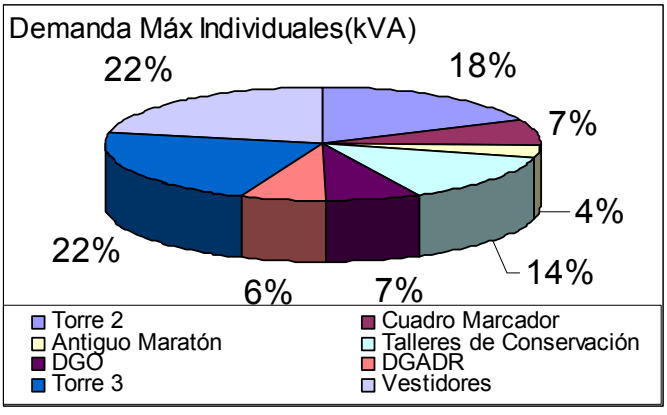


TABLA 21. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES ANUAL EN EL ALIMENTADOR "A"

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{1500}{8} = 83.33\,\text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso es de 83.33.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{284.83}{1500} = 0.1898$$

Con este valor podemos decir que el 18.98 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

FPe1= $0.3FC + 0.7FC^2$ = 0.3723

FPe2= $0.4FC + 0.6FC^2$ = 0.3971

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.3723, este valor no es muy alto ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo por los ocasionales picos de demanda.

8. Energía Total Consumida aproximada

970.39784 MW/año

9. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas encontrados:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas		Io	Io2	RIo2 [W]
					λ	λ1/2			
Alim. a 1AB	0.114			163.863	0.372	0.610	99.983	9996.606	1135.453
1AB a C.Marcador	0.089	110	0.90	11.761	0.372	0.610	7.176	51.496	4.601
1AB a Torre2	0.002	270	0.90	28.868	0.372	0.610	17.614	310.250	0.507
A. Maratón a 1AB	0.061			52.669	0.372	0.610	32.137	1032.776	63.294
2A a A. Maratón	0.170	53	0.90	5.667	0.372	0.610	3.458	11.955	2.031
2A a Tall. Conserv.	0.352	210	0.80	25.259	0.372	0.610	15.412	237.535	83.724
2A a D.G.O.	0.126	101	0.94	10.339	0.372	0.610	6.309	39.798	5.001
2A a DGADR	0.301	96	0.81	11.404	0.372	0.610	6.959	48.422	14.595
1AB a 3AB	0.035			70.565	0.372	0.610	43.056	1853.840	65.441
3AB a Torre3	0.002	330	0.90	35.283	0.372	0.610	21.528	463.460	1.136
3AB a Vestidores	0.014	330	0.90	35.283	0.372	0.610	21.528	463.460	6.287
								SUMA	1382.071

TABLA 22. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “A” PARA 6000 V EN UN AÑO.

Las pérdidas totales en el circuito: 1.3821 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 33.1704 kW/hr/día.

Las pérdidas totales al año: 12107.196 kW/hr/año.

10. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.397 \times 24 \text{ hrs.} = 9.528 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 2.232 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del Análisis anual

La aportación más importante que nos proporciona este análisis anual es el perfil de carga anual, en el que podemos deducir las causas que afectan el comportamiento de la carga a lo largo de un año, y el dato de energía consumida aproximada, pues los factores calculados no son muy representativos ya que se ven afectados por largo periodo de evaluación y que además se consideran demandas promedio para graficar, y nos las demandas máximas diarias.

Comparando con los estudios anteriores, tenemos un factor de pérdidas es un poco menor que para el análisis diario promedio de un año, esto es por el factor

de carga bajo obtenido en la curva anual originado por los picos ocasionales, por lo tanto las pérdidas encontradas en este caso son menores.

Con esto podemos decidir que el mejor caso para el análisis de las pérdidas es el caso 3 del análisis diario, pues estamos considerando datos de demanda para cada hora, y realizando un promedio de todos los días del año, con esto tenemos datos más representativos de la carga, a diferencia de un semanal o un anual.

V. 4. 1. 2 Alimentador B.

Diagrama unifilar.

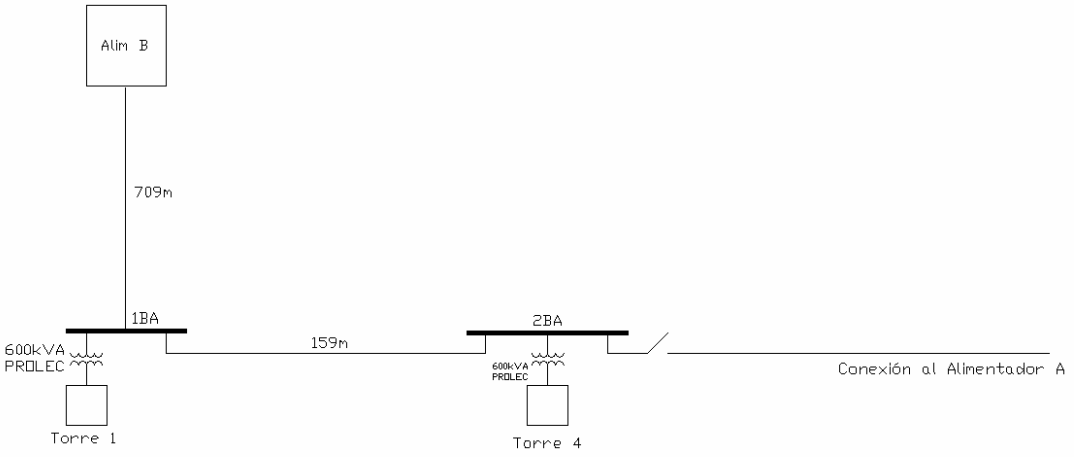


DIAGRAMA 17. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “B”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador B se compone de 2 seccionadores y 2 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1BA	**600**
Torre 1	600
2BA	**600**
Torre 4	600
TOTAL	**1200**

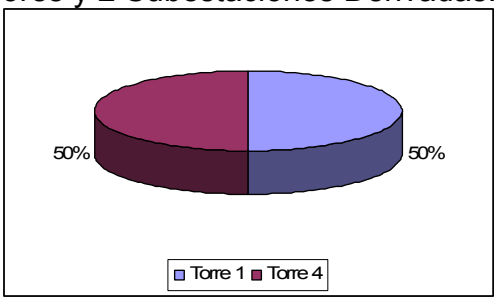


TABLA 23. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR “B”

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador B es de 1.2 MVA.

V. 4. 2 Anillo II.

Alimentadores. Está formado por los alimentadores C y D.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo II	**2.467**	**4**	**5**	**3000**
Alimentador C	1.391	2	3	1800
Alimentador D	1.076	2	2	1800

TABLA 24. ANILLO II DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Punto abierto. Se encuentra abierto entre los seccionadores 2 CD y 2 DC.

V. 4. 2. 1 Alimentador C.

Diagrama unifilar.

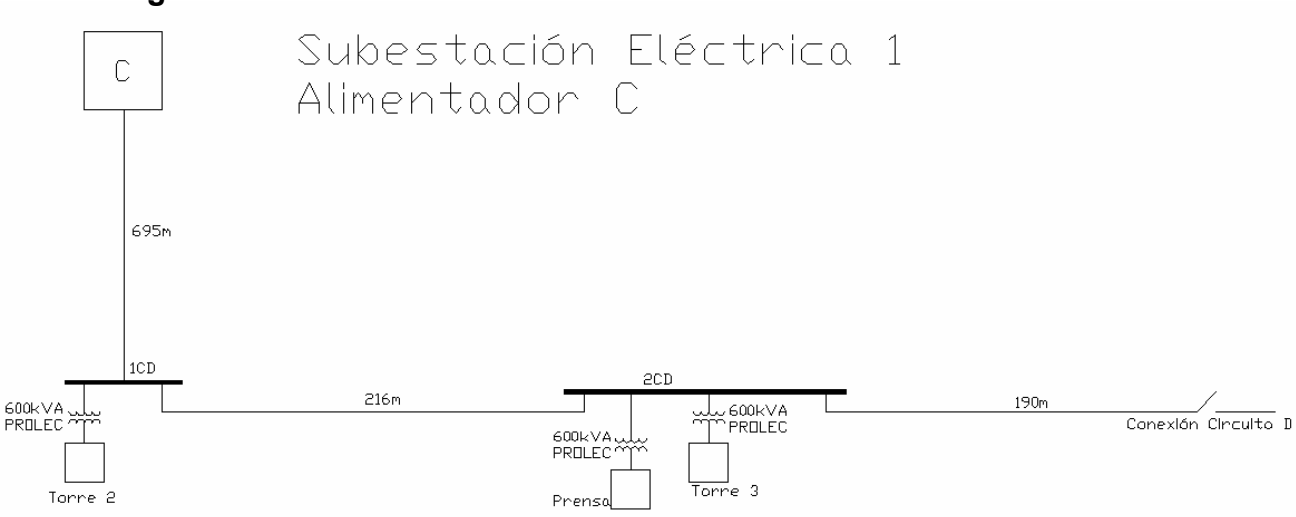


DIAGRAMA 18. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR "C"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador C se compone de 2 seccionadores y 3 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1CD	**600**
Torre 2	600
2CD	**1200**
Torre 3	600
Prensa	600
TOTAL	**1800**

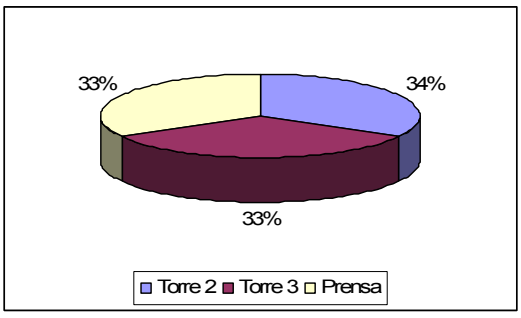


TABLA 25. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "C"

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador C es de 1.8 MVA.

V. 4. 2. 2 Alimentador D.

Diagrama unifilar.

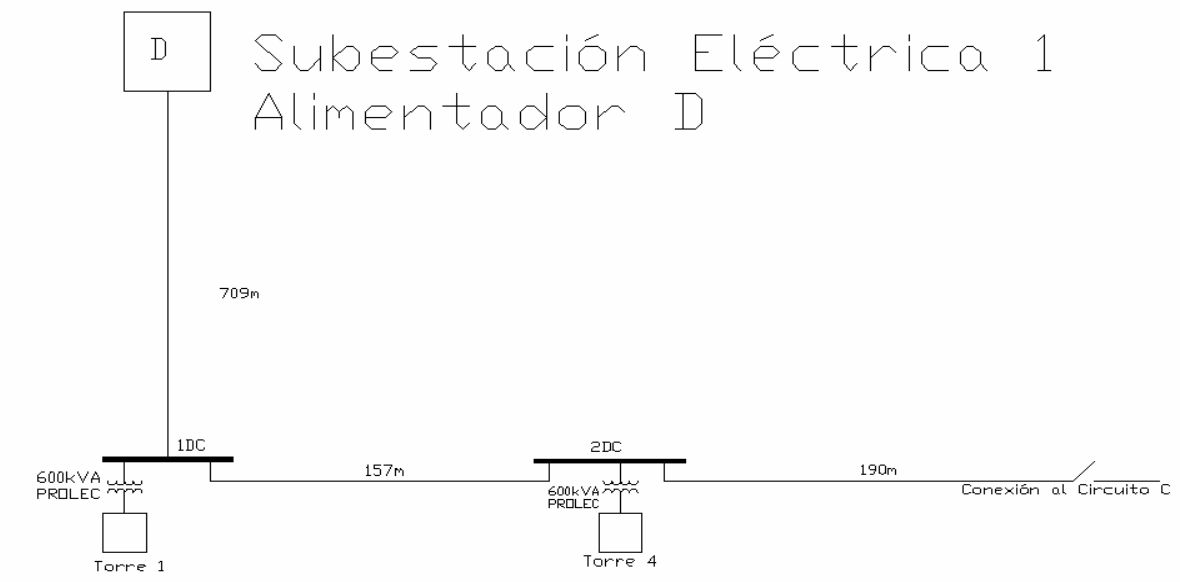


DIAGRAMA 19. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR "D"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador D se compone de 2 seccionadores y 2 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1DC	**600**
Torre 1	600
2DC	**600**
Torre 4	600
TOTAL	**1200**

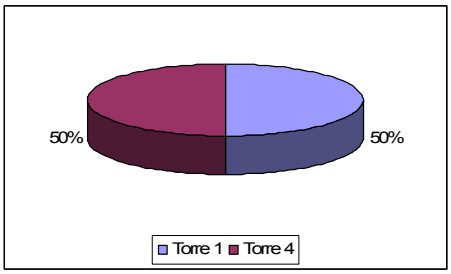


TABLA 26. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "D"

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador D es de 1.2 MVA.

V. 4. 3 Anillo III.

Alimentadores. Está formado por los alimentadores E y F.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo III	**5.838**	**10**	**15**	**4800**
Circuito E	0.96	1	1	750
Circuito F	4.878	9	14	4050

TABLA 27. ANILLO III DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Punto abierto. Se encuentra abierto entre el seccionador 1EF y 2FE.

V. 4. 3. 1 Alimentador E.

Diagrama unifilar.

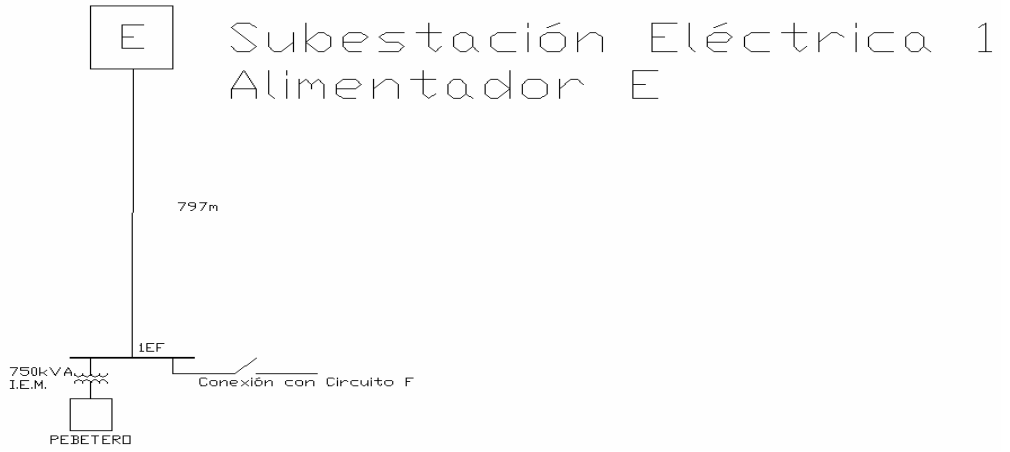


DIAGRAMA 20. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR "E"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador E se compone de 1 seccionadores y 1 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1EF	**750**
Pebetero	750
TOTAL	**750**

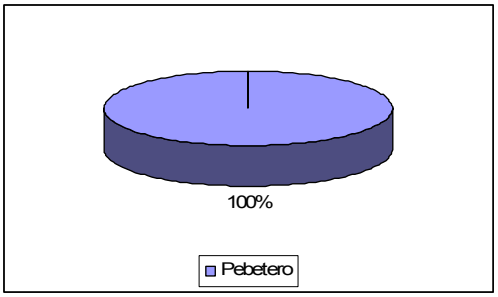


TABLA 28. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "E"

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador E es de 0.75 MVA.

V. 4. 3. 2 Alimentador F.

Diagrama unifilar.

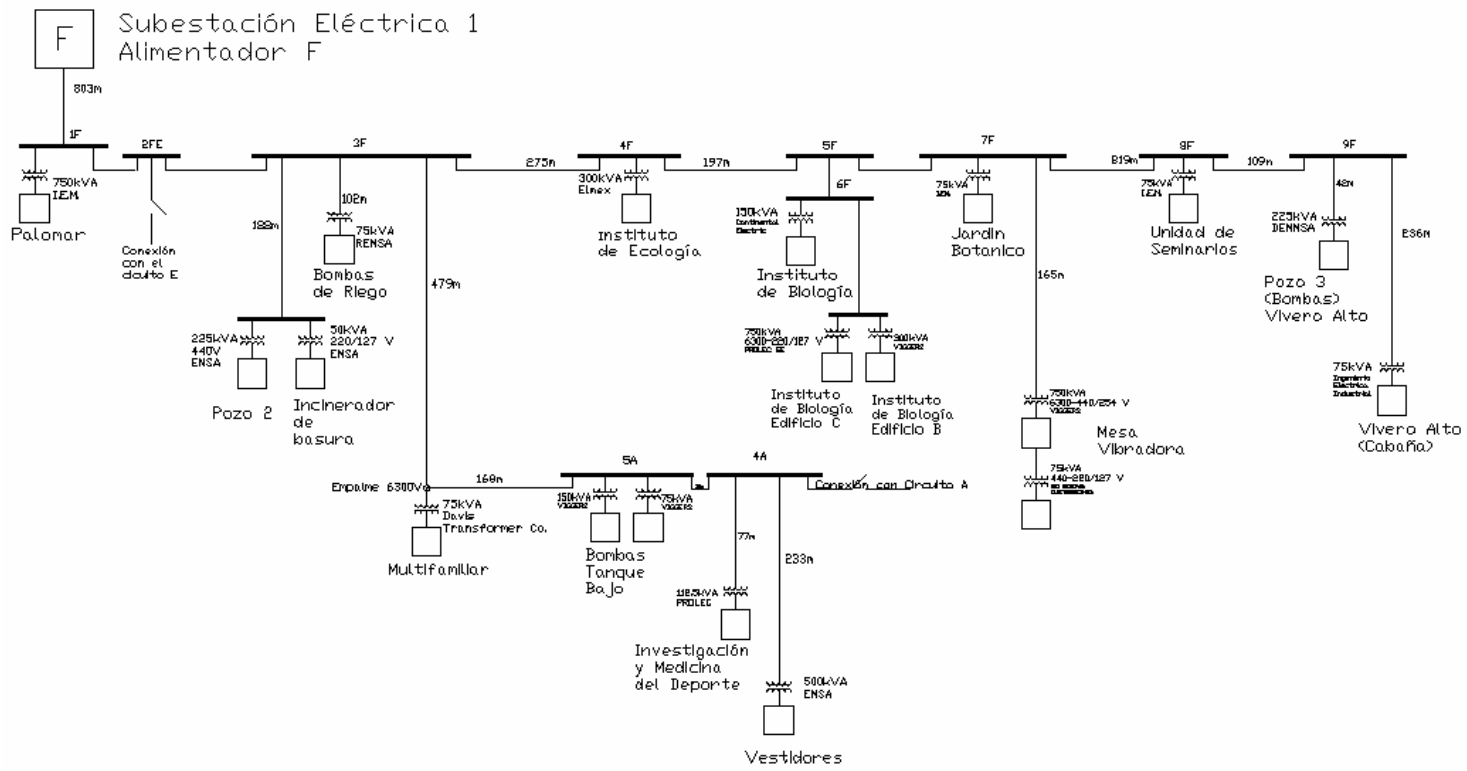


DIAGRAMA 21. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “F”

Plano.

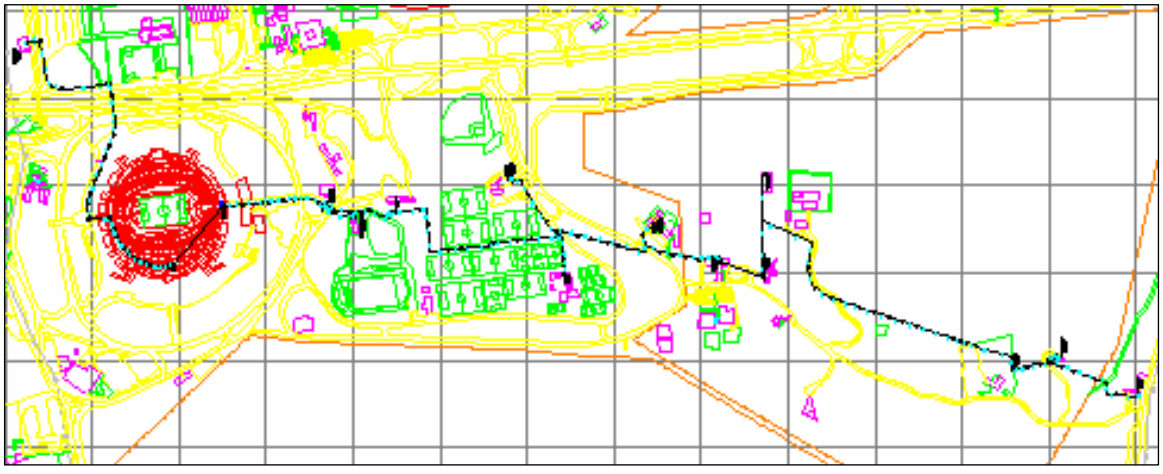


FIGURA 55. PLANO ALIMENTADOR “F”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador F se compone de 9 seccionadores y 14 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1F	**750**
Palomar	750
2FE	
3F	**525**
Pozo 2	225
Incinerador de basura	50
Bombas de riego	250
4F	**300**
Instituto de ecología	300
6F	**1200**
Instituto de biología	150
Instituto de biología C	750
Instituto de biología D	300
5F	
7F	**900**
Jardín botánico exterior	75
Mesa vibradora 1	750
Mesa vibradora 2	75
8F	**75**
Unidad de seminarios	75
9F	**300**
Vivero alto (bombas)	225
Vivero alto (cabañas)	75
TOTAL	**4050**

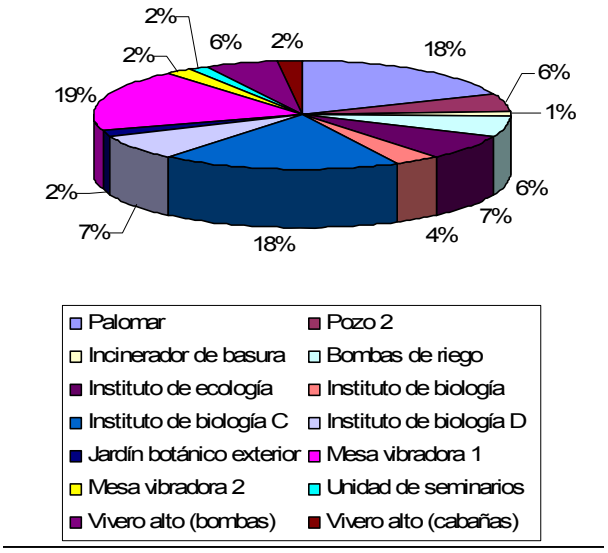


TABLA 29. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR “F”

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador F es de 4.050 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 1/0 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
1F a Alim. F	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.803	0.131
1F a Palomar	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
2FE a 1F	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.004	0.001
2FE a 3F	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.387	1.460	0.564
3F a A	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.188	0.073
A a Inc. Basura	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
A a Pozo 2	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
3F a Bomba Riego	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.387	0.102	0.039
3F a 4F	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.275	0.106
4F a I. Ecología	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
4F a 5F	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.197	0.032
5F a 6F	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
6F a Inst. Biología	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
6F a B	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.146	0.056
B a Inst. Bio B	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.060	0.023
B a Inst. Bio C	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.080	0.031
5F a 7F	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.102	0.039
7F a Jardin Bot.	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
7F a Mesa V 1	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.165	0.064
Mesa V 1 a Mesa V 2	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
7F a 8F	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.819	0.317
8F a Uni. Semi.	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
8F a 9F	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.109	0.042
9F a Pozo 3	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.042	0.016
9F a Cabaña	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.236	0.091

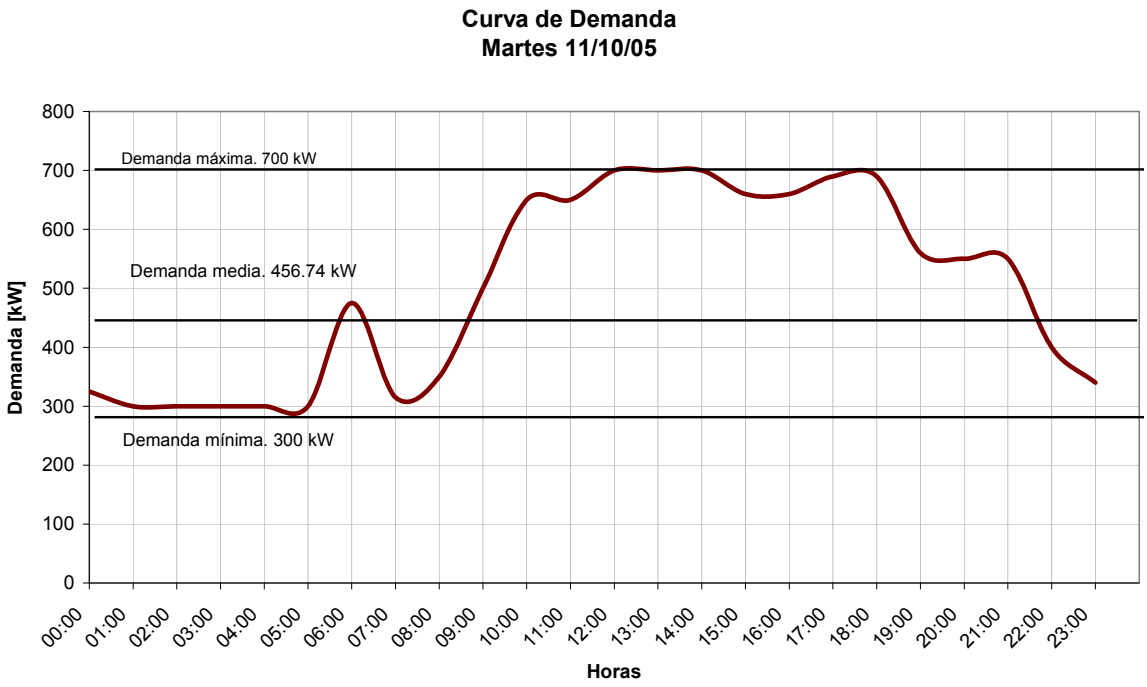
TABLA 30. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR “F”

Análisis de carga y demanda.

Análisis del consumo. Se realizó un monitoreo de la demanda de potencia a lo largo del año 2005, de donde obtuvimos los datos necesarios para realizar un estudio representativo.

- **En un día.** Se analizarán dos casos, un día ordinario dentro del ciclo escolar y un caso especial en el que no hay actividades normales, la poca actividad que se puede monitorear corresponde a los institutos.

CASO 1. Día ordinario dentro del ciclo escolar.



GRAFICA 9. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR "F"

La curva nos muestra el perfil de demanda durante el día. Podemos observar que desde las 00:00 hasta las 5:00 hrs., se tiene una carga constante de 300 kW que se debe a la carga por iluminación, a partir de esta hora la demanda incrementa rápidamente hasta un pico de 480 kW, aprox. a las 6:00 hrs. debido al inicio de actividades por parte de los trabajadores de limpia y mantenimiento. Posteriormente, tenemos que la demanda aumenta rápidamente hasta alcanzar la máxima demanda de 700 kW entre las 12:00 y las 14:00 horas, esto es debido a las labores en la universidad; se están alimentando equipos de cómputo, iluminación y aire acondicionado principalmente. La demanda disminuye un poco por las horas de comida, y aumenta con el regreso de investigadores y personal a sus labores. A partir de las 18:00 comienza a disminuir la demanda por la terminación de labores de personal e investigadores, quedando la demanda correspondiente a iluminación, que es la demanda base de este alimentador.

De la gráfica obtuvimos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 700 kW.
- **Demanda Promedio:** 456.74 kW.
- **Demanda Mínima:** 300 kW.

Con estos valores calculamos los factores que nos describen el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{456.74}{700} = 0.652$$

El factor de carga indica que en más del 60% del intervalo (24 horas), se mantiene el pico de la carga, o que la eficiencia del sistema es 65.2%.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{700}{4050} = 0.173$$

El factor de demanda indica que el 17.3% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{700}{7500} = 0.093$$

El factor de utilización nos dice que el 9.3% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito F en el momento de la demanda máxima de este.

4. **Demandas Máximas Individuales**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Palomar	66.4
Incinerador de basura	29.1
Instituto de ecología	94.7
Instituto de biología C	67.1
Jardín botánico exterior	19.6
Pozo 2	141.7
Bombas de riego	47.6
Mesa vibradora 1	89.5
Mesa vibradora 2	11.2
Vivero alto (bombas)	142.7
Instituto de biología D	72.3
Vivero alto (cabañas)	2.2
Instituto de biología	22.4
Unidad de Seminarios	33.6
TOTAL	**840.0**

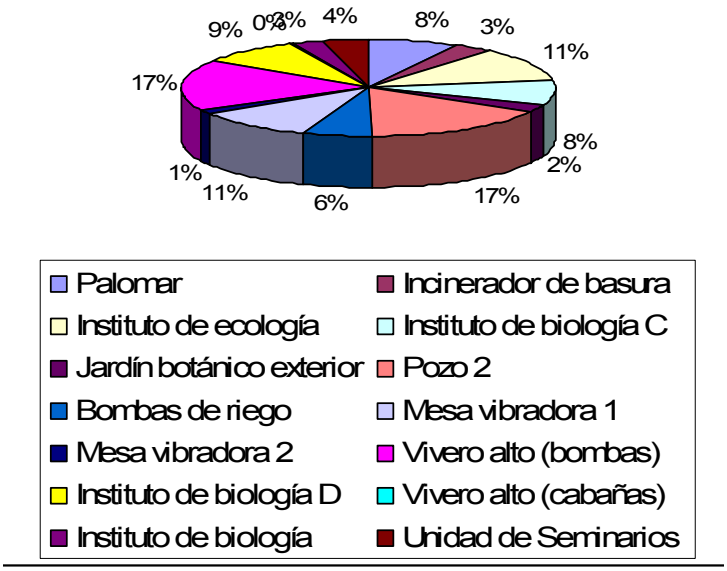


TABLA 31. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "F" PARA UN DÍA ORDINARIO.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{840}{14} = 60 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso tenemos que cada carga contribuye con 60 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{700}{840} = 0.833$$

Con este valor podemos decir que el 83.3 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3Fc + 0.7FC^2 = 0.494$$

$$FPe2 = 0.4Fc + 0.6FC^2 = 0.516$$

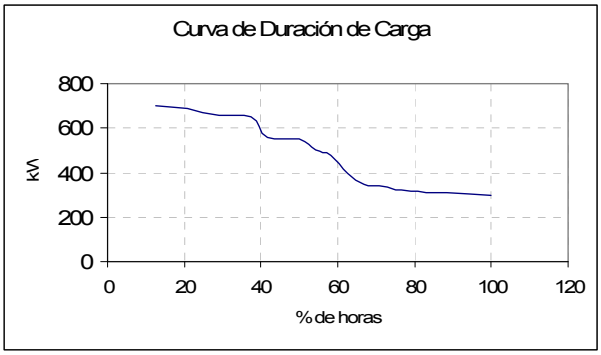
El factor de pérdidas que nos interesa, en este caso, es el FPe2 con un valor de 0.51. Notamos que no es muy alto ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo debido a que se tiene un periodo de análisis corto.

8. Energía Total Consumida

10 961.77 kW/hr/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
700	3	12.500	12.500
690	2	8.333	20.833
660	2	8.333	29.167
650	2	8.333	37.500
560	1	4.167	41.667
550	2	8.333	50.000
500	1	4.167	54.167
475	1	4.167	58.333
400	1	4.167	62.500
350	1	4.167	66.667
340	1	4.167	70.833
325	1	4.167	75.000
315	1	4.167	79.167
300	5	20.833	100.000
Total	**24**	**100**	



GRAFICA 10. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR "F"

En la gráfica de duración de carga observamos que en el 20% del periodo de análisis se maneja la carga máxima, y cerca del 10% se tiene con demanda mínima.

10. Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas.

TRAMO	R [Ω]	Dem. Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1F a Alim. F	0.131			51.094	0.516	0.718	36.703	1347.093	176.785
1F a Palomar	0.002	66.4	0.92	6.945	0.516	0.718	4.989	24.888	0.041
2FE a 1F	0.001			44.150	0.516	0.718	31.714	1005.778	0.657
2FE a 3F	0.564			82.532	0.516	0.718	59.285	3514.720	1983.373
3F a A	0.073			19.223	0.516	0.718	13.809	190.680	13.856
A a Inc. Basura	0.004	29.1	0.88	3.182	0.516	0.718	2.286	5.225	0.020
A a Pozo 2	0.004	141.7	0.85	16.041	0.516	0.718	11.523	132.779	0.513
3F a Bomba Rie	0.039	47.6	0.80	5.725	0.516	0.718	4.113	16.915	0.667
3F a 4F	0.106			63.308	0.516	0.718	45.476	2068.103	219.819
4F a I. Ecología	0.004	94.7	0.87	10.474	0.516	0.718	7.524	56.609	0.219
4F a 5F	0.032			52.834	0.516	0.718	37.952	1440.391	46.374
5F a 6F	0.002			18.831	0.516	0.718	13.527	182.975	0.299
6F a Inst. Biolog	0.004	22.4	0.78	2.763	0.516	0.718	1.985	3.940	0.015
6F a B	0.056			16.068	0.516	0.718	11.542	133.213	7.517
B a Inst. Bio B	0.023	72.3	0.87	7.997	0.516	0.718	5.744	32.996	0.765
B a Inst. Bio C	0.031	67.1	0.80	8.071	0.516	0.718	5.798	33.612	1.039
5F a 7F	0.039			34.003	0.516	0.718	24.426	596.613	23.521
7F a Jardin Bot.	0.004	19.6	0.90	2.096	0.516	0.718	1.505	2.266	0.009
7F a Mesa V 1	0.064	89.5	0.75	11.483	0.516	0.718	8.248	68.038	4.339
Mesa V 1 a Mes	0.004	11.2	0.90	1.197	0.516	0.718	0.860	0.740	0.003
7F a 8F	0.317			19.227	0.516	0.718	13.812	190.762	60.386
8F a Uni. Semi.	0.004	33.6	0.90	3.592	0.516	0.718	2.581	6.659	0.026
8F a 9F	0.042			15.635	0.516	0.718	11.231	126.139	5.314
9F a Pozo 3	0.016	142.7	0.90	15.257	0.516	0.718	10.960	120.113	1.950
9F a Cabaña	0.091	2.2	0.56	0.378	0.516	0.718	0.272	0.074	0.007
								Total	2547.514

TABLA 32. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “F” PARA 6000 V.

Las pérdidas totales en el circuito: 2.547 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 61.128 kW/hr/día.

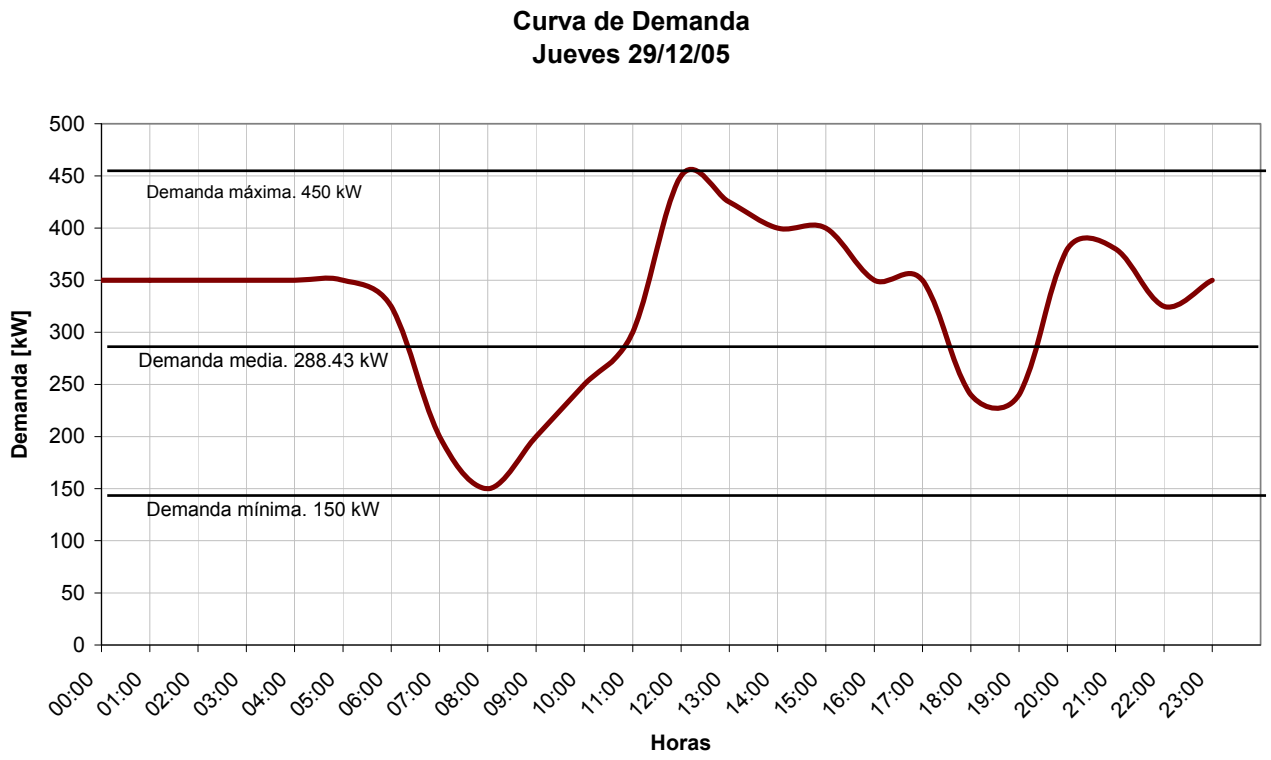
NOTA. Ver Anexo I para metodología de cálculo de pérdidas en conductores.

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.516 \times 24 \text{ hrs.} = 12.384 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 12.384 hrs. de operación del circuito con demanda máxima.

CASO 2. Disminución de actividades en las instalaciones de Ciudad Universitaria. La principal actividad se lleva a cabo en institutos.



GRAFICA 11. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR "F"

El perfil de carga nos muestra una carga constante por la madrugada causada por la iluminación, hay un decremento en la demanda a partir de las 5:00 hrs., alcanzando la demanda mínima a las 8:00 hrs., debido al apagado de lámparas por la iluminación del día. En este caso notamos un pico de demanda mínima debido a que no hay actividades normales en la Universidad este día, por las vacaciones de invierno, y al apagar las lámparas, no tenemos muchas cargas demandando corriente. Después de las 8:00 hrs. encontramos que las actividades en los institutos comienzan y la demanda comienza a aumentar, hasta llegar a un pico de demanda máxima a las 12:00 hrs. del día. Después de la 12:00 hrs. se presenta una disminución de la demanda debido a la salida a comer, y poco después debido a la disminución de labores de personal de mantenimiento. De las 18:00 a las 19:00 hrs. tenemos una carga menor debido al término de actividades en los institutos, a partir de las 19:00 hrs. tenemos un aumento de la demanda debido a la falta de luz de día y al encendido de lámparas, para quedar en demanda mínima debido a iluminación nuevamente. De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 450 kW.
- **Demanda Promedio:** 288.43 kW.
- **Demanda Mínima:** 150 kW.

Con estos valores calculamos los factores que nos describen el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{288.43}{450} = 0.641$$

El factor de carga indica que en más del 60% del intervalo (24 horas), se mantiene el pico de la carga, o que la eficiencia del sistema es 64.1%.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{450}{4050} = 0.111$$

El factor de demanda indica que el 11.1% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{450}{7500} = 0.060$$

El factor de utilización nos dice que el 6% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito F en el momento de la demanda máxima de este.

4. **Demandas Máximas Individuales**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Palomar	20.6
Incinerador de basura	12.0
Instituto de ecología	90.9
Instituto de biología C	80.4
Jardín botánico exterior	10.5
Pozo 2	65.9
Bombas de riego	25.5
Mesa vibradora 1	49.9
Mesa vibradora 2	8.0
Vivero alto (bombas)	70.4
Instituto de biología D	84.5
Vivero alto (cabañas)	3.2
Instituto de biología	30.0
Unidad de Seminarios	13.0
TOTAL	**564.7**

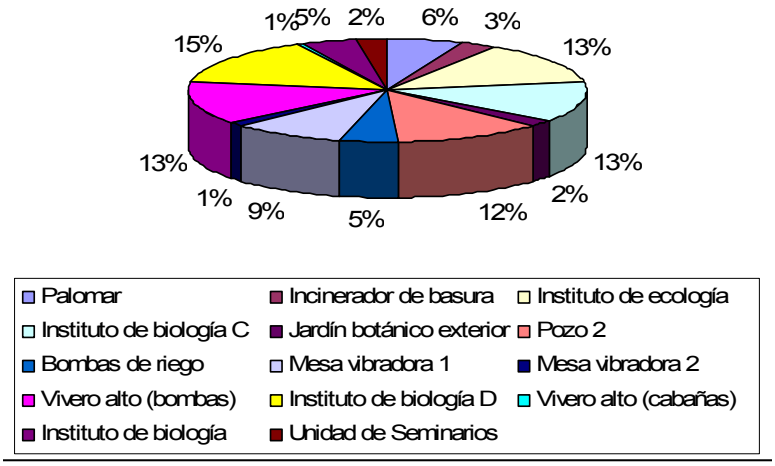


TABLA 33. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "F" PARA UN DÍA EXTRAORDINARIO.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{564.7}{14} = 40.33 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso tenemos que cada carga contribuye con 40.33 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{450}{564.7} = 0.797$$

Con este valor podemos decir que el 79.7 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1= 0.3Fc + 0.7FC^2 = 0.480$$

$$FPe2= 0.4Fc + 0.6FC^2 =0.503$$

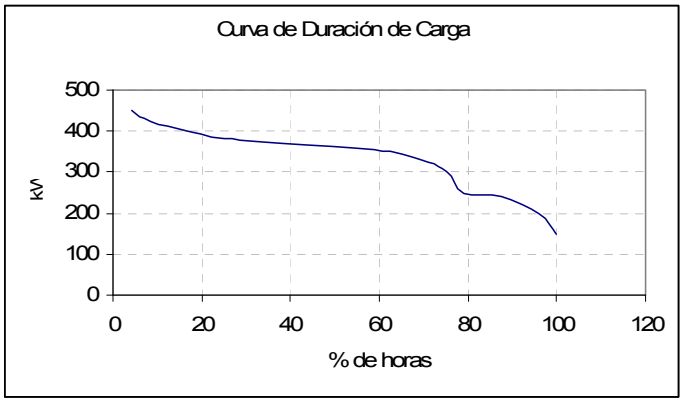
El factor de pérdidas que nos interesa, en este caso, es el FPe2 con un valor de 0.503. Notamos que no es muy alto ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo debido a que se tiene un periodo de análisis corto.

8. Energía Total Consumida

6 922.32 kW/hr/día.

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
450	1	4.167	4.167
425	1	4.167	8.333
400	2	8.333	16.667
380	2	8.333	25.000
350	9	37.500	62.500
325	2	8.333	70.833
300	1	4.167	75.000
250	1	4.167	79.167
240	2	8.333	87.500
200	2	8.333	95.833
150	1	4.167	100.000
Total	**24**	100.000	



GRAFICA 12. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR “F”

En la gráfica de duración de carga observamos que la demanda máxima se mantiene durante muy poco tiempo, ya que comienza a disminuir en menos del 10% del tiempo.

10. Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1F a Alim. F	0.131			46.304	0.503	0.709	32.840	1078.469	141.532
1F a Palomar	0.002	20.6	0.92	2.155	0.503	0.709	1.528	2.335	0.004
2FE a 1F	0.001			44.150	0.503	0.709	31.312	980.439	0.641
2FE a 3F	0.564			59.391	0.503	0.709	42.121	1774.210	1001.195
3F a A	0.073			8.772	0.503	0.709	6.222	38.709	2.813
A a Inc. Basura	0.004	12.0	0.88	1.312	0.503	0.709	0.931	0.866	0.003
A a Pozo 2	0.004	65.9	0.85	7.460	0.503	0.709	5.291	27.995	0.108
3F a Bomba Rie	0.039	25.5	0.80	3.067	0.503	0.709	2.175	4.732	0.187
3F a 4F	0.106			50.618	0.503	0.709	35.900	1288.792	136.986
4F a I. Ecología	0.004	90.9	0.87	10.054	0.503	0.709	7.130	50.843	0.197
4F a 5F	0.032			40.564	0.503	0.709	28.769	827.672	26.648
5F a 6F	0.002			22.718	0.503	0.709	16.112	259.592	0.424
6F a Inst. Biolog	0.004	30.0	0.78	3.701	0.503	0.709	2.625	6.890	0.027
6F a B	0.056			19.017	0.503	0.709	13.487	181.901	10.265
B a Inst. Bio B	0.023	84.5	0.87	9.346	0.503	0.709	6.628	43.936	1.019
B a Inst. Bio C	0.031	80.4	0.80	9.671	0.503	0.709	6.859	47.041	1.455
5F a 7F	0.039			17.847	0.503	0.709	12.657	160.210	6.316
7F a Jardin Bot.	0.004	10.5	0.90	1.123	0.503	0.709	0.796	0.634	0.002
7F a Mesa V 1	0.064	49.9	0.75	6.402	0.503	0.709	4.541	20.617	1.315
Mesa V 1 a Mes	0.004	8.0	0.90	0.855	0.503	0.709	0.607	0.368	0.001
7F a 8F	0.317			9.467	0.503	0.709	6.714	45.078	14.270
8F a Uni. Semi.	0.004	13.0	0.90	1.390	0.503	0.709	0.986	0.972	0.004
8F a 9F	0.042			8.077	0.503	0.709	5.728	32.813	1.382
9F a Pozo 3	0.016	70.4	0.90	7.527	0.503	0.709	5.338	28.497	0.463
9F a Cabaña	0.091	3.2	0.56	0.550	0.503	0.709	0.390	0.152	0.014
								Total	1347.269

TABLA 34. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “F” PARA 6000 V. PARA UN DÍA EXTRAORDINARIO.

Las pérdidas totales en el circuito: 1.347 kW/hr.

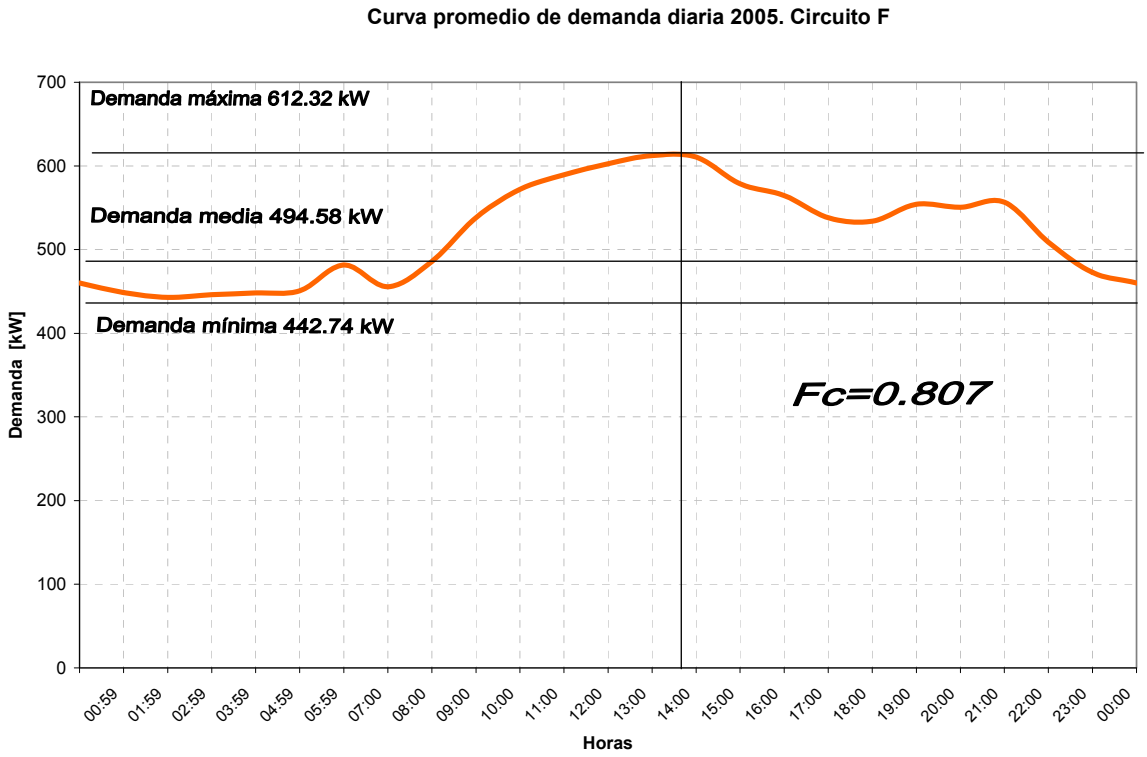
Las pérdidas totales en el circuito por día: 32.328 kW/hr/día.

11. **Horas equivalentes**

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.503 \times 24 \text{ hrs.} = 12.072 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 12.072 hrs. de operación del circuito con demanda máxima.

CASO 3. Promedio de demanda diaria durante un año.



GRAFICA 13. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL ALIMENTADOR "F"

La curva nos muestra el perfil de demanda promedio de todos los días del año 2005 del alimentador F. Notamos que de las 00:00 hrs. hasta las 4:00 hrs el comportamiento es constante, manteniéndose en demanda mínima debido a iluminación. A partir de las 5:00 hrs. tenemos un pico de demanda por el inicio de actividades de mantenimiento, la demanda sigue incrementándose hasta llegar al pico de demanda máximo de 612.32 kW a las 14:00 hrs. por las actividades administrativas, de mantenimiento, académicas, etc. A partir de las 14:00 hrs. tenemos una baja de la demanda debido a la salida a comer, ya que es un horario casi constante para el personal que labora en Ciudad Universitaria. Después de las 14:00 hrs. la demanda disminuye hasta las 16:00 hrs. que es cuando la mayor parte del personal termina labores. Entre las 18:00 y 19:00 hrs. aumenta la demanda porque la iluminación entra en acción para llegar a mantenerse otra vez en la demanda mínima del circuito.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 612.32 kW

- **Demanda Promedio:** 494.58 kW
- **Demanda Mínima:** 442.74 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{494.58}{612.32} = 0.807$$

El factor de carga nos dice que el 80% del promedio de demanda anual permanece el un pico de demanda mayor a 612.32 kW.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{612.32}{4050} = 0.1512$$

El factor de demanda muestra que el 15.12 % de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima promedio anual.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{612.32}{7500} = 0.0816$$

Tenemos que el 8.16% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima promedio anual.

4. **Demandas Máximas Promedio Individuales**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Palomar	96.2
Incinerador de basura	55.3
Instituto de ecología	144.0
Instituto de biología C	109.6
Jardín botánico exterior	43.0
Pozo 2	182.8
Bombas de riego	73.2
Mesa vibradora 1	121.9
Mesa vibradora 2	41.5
Vivero alto (bombas)	201.4
Instituto de biología D	112.9
Vivero alto (cabañas)	19.6
Instituto de biología	54.7
Unidad de Seminarios	68.9
TOTAL	**1325.1**

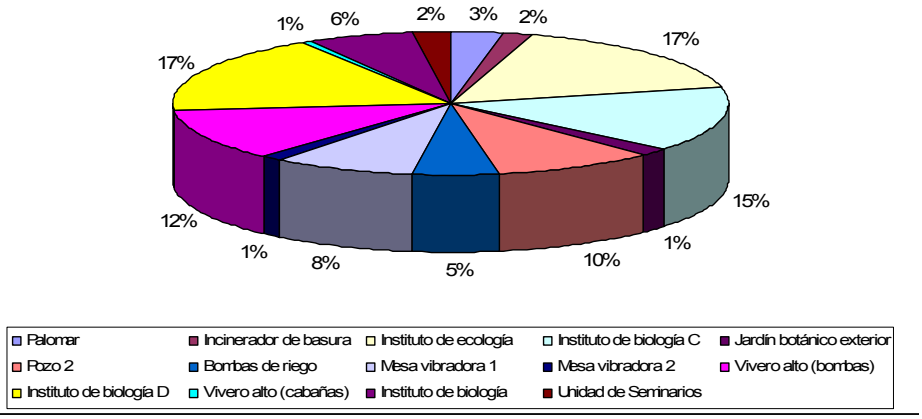


TABLA 35. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "F"

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{1325.1}{14} = 94.65\,\text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga en el momento del pico de demanda, en este caso es de 94.65 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{612.32}{1325.1} = 0.462$$

Con este valor podemos decir que apenas el 46.2 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.6979$$

$$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.7135$$

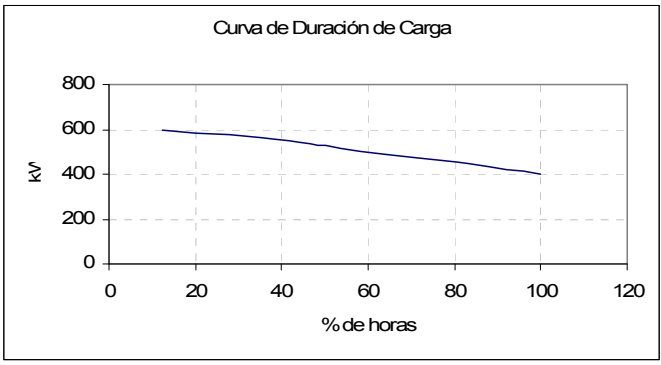
Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.7135, este valor se utiliza para el cálculo de pérdidas por efecto Joule.

8. Energía Total Consumida promedio:

11 869.98 kW/hr/día.

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
>600	3	12.50	12.50
>550 y <600	7	29.17	41.67
>500 y <550	4	16.67	58.33
>450 y <500	6	25.00	83.33
>400 y <450	4	16.67	100.00
Total	**24**	100	



GRAFICA 14. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA EN EL ALIMENTADOR "F"

En la gráfica de duración de carga observamos que carga se mantiene en su máxima demanda durante poco tiempo, por lo cual la carga no se encuentra bien repartida durante las 24 hrs.

10. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1F a Alim. F	0.131			185.324	0.713	0.844	156.487	24488.028	3213.669
1F a Palomar	0.002	96.2	0.92	9.147	0.713	0.844	7.724	59.656	0.097
2FE a 1F	0.001			44.150	0.713	0.844	37.280	1389.767	0.909
2FE a 3F	0.564			132.028	0.713	0.844	111.483	12428.504	7013.462
3F a A	0.073			26.741	0.713	0.844	22.580	509.850	37.048
A a Inc. Basura	0.004	55.3	0.88	6.047	0.713	0.844	5.106	26.071	0.101
A a Pozo 2	0.004	182.8	0.85	20.694	0.713	0.844	17.474	305.338	1.180
3F a Bomba Rie	0.039	73.2	0.80	8.805	0.713	0.844	7.435	55.272	2.179
3F a 4F	0.106			105.287	0.713	0.844	88.903	7903.806	840.098
4F a I. Ecología	0.004	144.0	0.87	15.927	0.713	0.844	13.449	180.864	0.699
4F a 5F	0.032			89.360	0.713	0.844	75.455	5693.424	183.304
5F a 6F	0.002			32.418	0.713	0.844	27.374	749.313	1.225
6F a Inst. Biolog	0.004	54.7	0.78	6.748	0.713	0.844	5.698	32.468	0.125
6F a B	0.056			25.670	0.713	0.844	21.676	469.829	26.513
B a Inst. Bio B	0.023	112.9	0.87	12.487	0.713	0.844	10.544	111.177	2.578
B a Inst. Bio C	0.031	109.6	0.80	13.183	0.713	0.844	11.131	123.910	3.831
5F a 7F	0.039			56.942	0.713	0.844	48.081	2311.801	91.140
7F a Jardin Bot.	0.004	43.0	0.90	4.597	0.713	0.844	3.882	15.070	0.058
7F a Mesa V 1	0.064	121.9	0.75	15.640	0.713	0.844	13.206	174.402	11.122
Mesa V 1 a Mes	0.004	41.5	0.90	4.437	0.713	0.844	3.747	14.037	0.054
7F a 8F	0.317			32.267	0.713	0.844	27.246	742.368	234.998
8F a Uni. Semi.	0.004	68.9	0.90	7.367	0.713	0.844	6.220	38.692	0.150
8F a 9F	0.042			24.901	0.713	0.844	21.026	442.099	18.625
9F a Pozo 3	0.016	201.4	0.90	21.533	0.713	0.844	18.182	330.598	5.367
9F a Cabaña	0.091	19.6	0.56	3.368	0.713	0.844	2.844	8.087	0.738
								Total	11689.270

TABLA 36. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "F" PARA 6000 V.

Las pérdidas totales promedio en el circuito: 11.689 kW/hr.

Las pérdidas totales promedio en el circuito por día: 280.536 kW/hr/día.

Las pérdidas totales promedio en el año: 102.39564 MW/hr/año.

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.713 \times 24 \text{ hrs.} = 17.112 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 17.112 hrs. de operación del circuito con demanda máxima promedio anual.

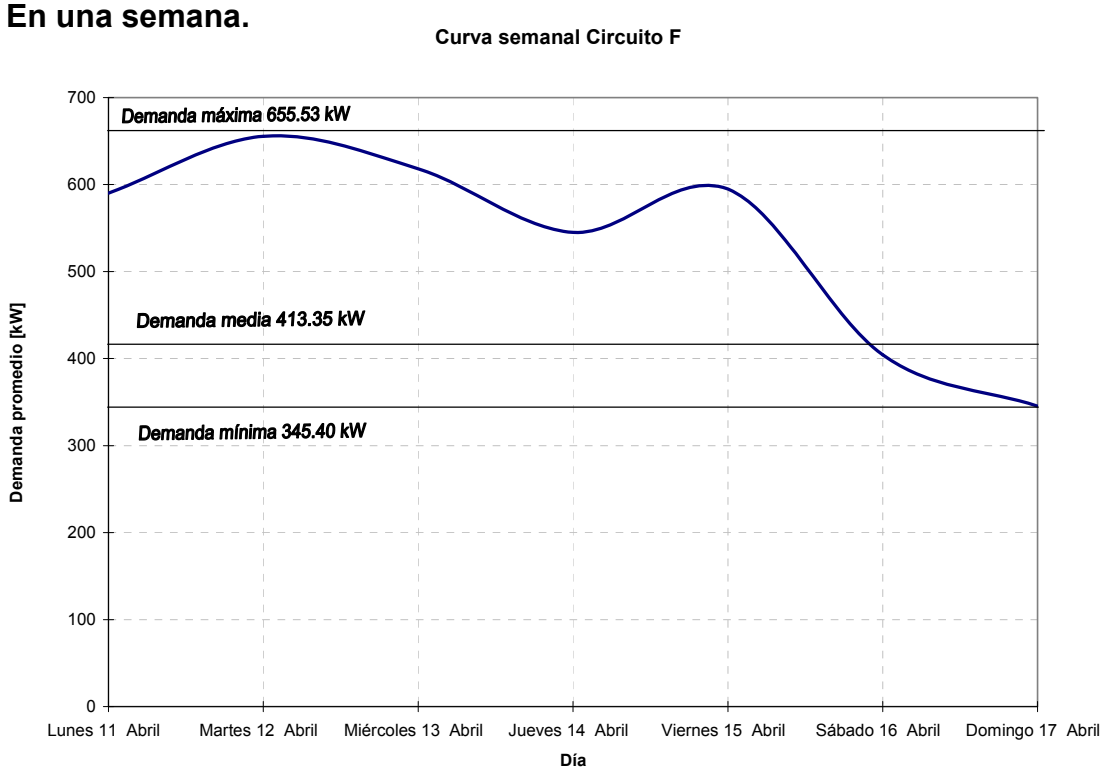
Conclusiones del análisis diario

De acuerdo a lo anterior, tenemos que el sistema es más eficiente cuando se encuentra trabajando en condiciones normales, debido a la presencia de picos mínimos por la falta de demanda en vacaciones. Durante el periodo de demanda máxima del circuito F, y tomando en cuenta los factores de utilización y demanda, notamos que la cantidad de energía suministrada a este es menor

para el periodo de vacaciones, debido a que las cargas no se encuentran trabajando todas o su máxima capacidad, lo anterior queda demostrado también por la demanda máxima con que contribuye cada una de las cargas. Por lo anterior, podemos concluir que la demanda varía en el alimentador F en razón de las actividades que se llevan a cabo en las dependencias que lo conforman, por lo cual, tenemos que en vacaciones la demanda disminuye pero no llega a ser muy distinta a un periodo de actividades normales durante el semestre, ya que en los institutos se sigue trabajando en los proyectos de investigación con los que se cuenta.

Por otro lado, como ya notamos, la demanda máxima disminuye en vacaciones y provoca que el factor de pérdidas, y las pérdidas, sean menores, ya que tenemos menos corriente circulando en los conductores para satisfacer menor demanda.

- **En una semana.**



GRAFICA 15. CURVA DE DEMANDA SEMANAL DEL ALIMENTADOR "F"

La curva nos muestra el perfil de demanda promedio de todos los días de una semana durante el mes de abril del año 2005 del alimentador F. Podemos observar que su comportamiento varía de acuerdo a las

actividades durante los días de la semana, es decir, la demanda máxima 655.53 kW se observa al inicio de la semana, concretamente el día martes. Aunque el día lunes tenemos una demanda menor que el martes, podemos observar que la demanda es grande en comparación con los demás días. Para los días sábado y domingo, tenemos una demanda que se encuentra en el rango de la demanda media y mínima, debido a la disminución de actividades administrativas y académicas. En este sentido tenemos, por ejemplo, que el uso de bombas para cubrir las necesidades de las dependencias que alimenta este circuito disminuyen y se tiene menos demanda.

- **Demanda Máxima:** 655.53 kW
- **Demanda Promedio:** 413.35 kW
- **Demanda Mínima:** 345.40 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{413.35}{655.53} = 0.631$$

El factor de carga indica que poco más de la mitad del intervalo, en este caso 7 días, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 63.1 %.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{655.53}{4050} = 0.162$$

El factor de demanda nos indica que el 16.2 % de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{655.53}{7500} = 0.087$$

El factor de utilización nos dice que el 8.7 % de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito F en el momento de la demanda máxima de este.

4. Demandas Máximas Individuales.

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Palomar	60.8
Incinerador de basura	26.7
Instituto de ecología	91.1
Instituto de biología C	63.8
Jardín botánico exterior	18.0
Pozo 2	129.9
Bombas de riego	43.6
Mesa vibradora 1	82.0
Mesa vibradora 2	10.3
Vivero alto (bombas)	130.8
Instituto de biología D	69.7
Vivero alto (cabañas)	2.1
Instituto de biología	22.2
Unidad de Seminarios	30.8
TOTAL	**781.7**

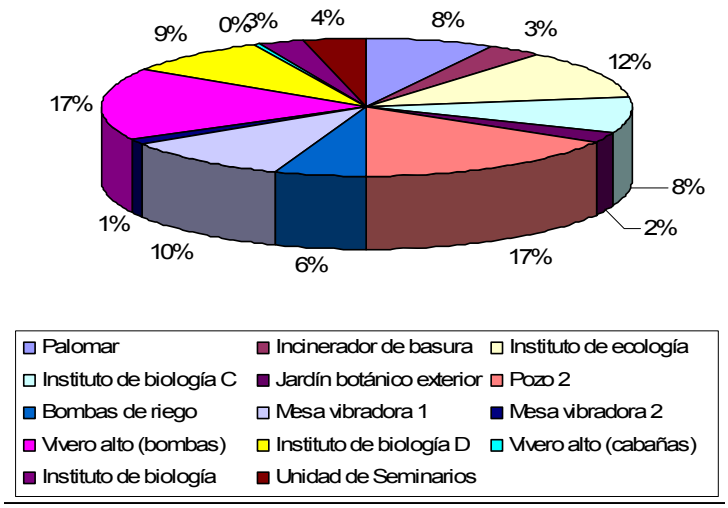


TABLA 37. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "F" SEMANAL.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{781.7}{14} = 55.83\,\text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso, encontramos que cada carga esta contribuyendo con 55.83 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{655.53}{781.7} = 0.838$$

Con este valor podemos decir que el 83.8 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. Factor de Pérdidas

$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.468$

$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.491$

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.49

8. Energía Total Consumida

69 442.56 kW/hr/semana

9. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas:

TRAMO	R [?]	Dem. Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1F a Alim. F	0.131			50.509	0.491	0.701	35.392	1252.607	164.385
1F a Palomar	0.002	60.8	0.92	6.359	0.491	0.701	4.456	19.856	0.032
2FE a 1F	0.001			44.150	0.491	0.701	30.936	957.048	0.626
2FE a 3F	0.564			77.008	0.491	0.701	53.960	2911.717	1643.095
3F a A	0.073			17.625	0.491	0.701	12.350	152.525	11.083
A a Inc. Basura	0.004	26.7	0.88	2.920	0.491	0.701	2.046	4.185	0.016
A a Pozo 2	0.004	129.9	0.85	14.705	0.491	0.701	10.304	106.179	0.410
3F a Bomba Riego	0.039	43.6	0.80	5.244	0.491	0.701	3.675	13.504	0.532
3F a 4F	0.106			59.383	0.491	0.701	41.610	1731.412	184.032
4F a I. Ecología	0.004	91.1	0.87	10.076	0.491	0.701	7.060	49.849	0.193
4F a 5F	0.032			49.307	0.491	0.701	34.550	1193.693	38.432
5F a 6F	0.002			18.122	0.491	0.701	12.698	161.243	0.264
6F a Inst. Biología	0.004	22.2	0.78	2.739	0.491	0.701	1.919	3.683	0.014
6F a B	0.056			15.383	0.491	0.701	10.779	116.189	6.557
B a Inst. Bio B	0.023	69.7	0.87	7.709	0.491	0.701	5.402	29.180	0.677
B a Inst. Bio C	0.031	63.8	0.80	7.674	0.491	0.701	5.377	28.915	0.894
5F a 7F	0.039			31.185	0.491	0.701	21.852	477.498	18.825
7F a Jardin Bot.	0.004	18.0	0.90	1.925	0.491	0.701	1.349	1.819	0.007
7F a Mesa V 1	0.064	82.0	0.75	10.521	0.491	0.701	7.372	54.345	3.466
Mesa V 1 a Mesa V 2	0.004	10.3	0.90	1.101	0.491	0.701	0.772	0.595	0.002
7F a 8F	0.317			17.639	0.491	0.701	12.360	152.760	48.356
8F a Uni. Semi.	0.004	30.8	0.90	3.293	0.491	0.701	2.307	5.324	0.021
8F a 9F	0.042			14.346	0.491	0.701	10.052	101.045	4.257
9F a Pozo 3	0.016	130.8	0.90	13.985	0.491	0.701	9.799	96.026	1.559
9F a Cabaña	0.091	2.1	0.56	0.361	0.491	0.701	0.253	0.064	0.006
								Total	**2127.741**

TABLA 38. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “F” PARA 6000 V. SEMANAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 2.127 kW/hr

Las pérdidas totales en el circuito por día: 51.048 kW/hr/semana.

10. Horas equivalentes.

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.491 \times 24 \text{ hrs.} = 11.784 \text{ hrs.}$$

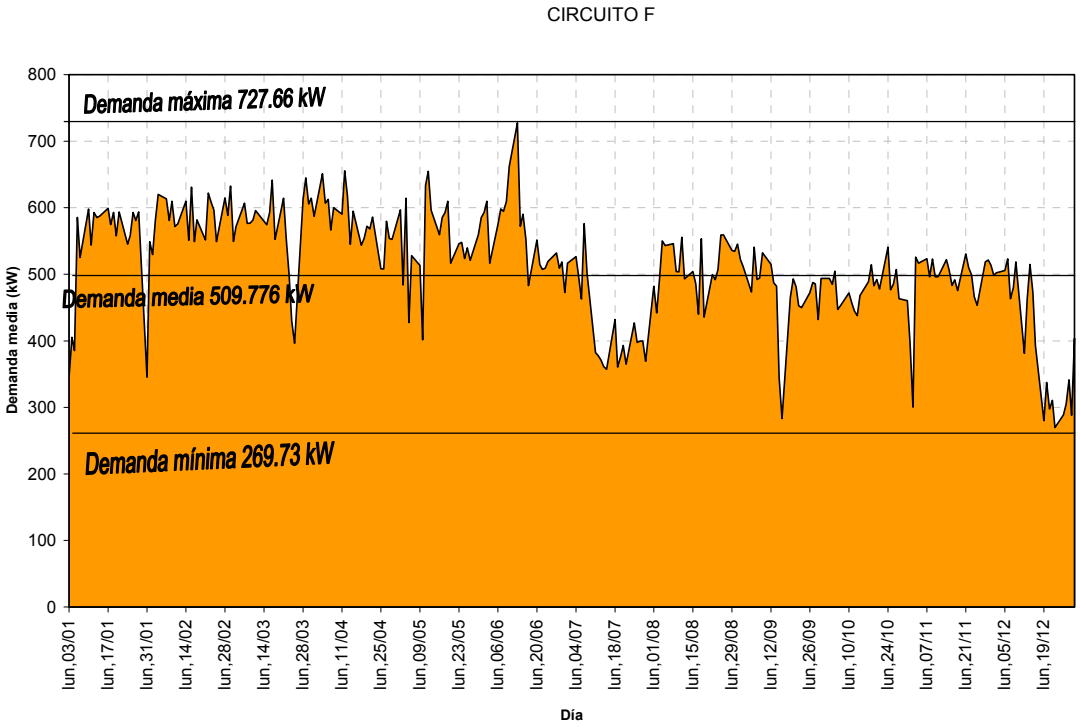
Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 11.784 hrs. de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del análisis semanal.

En este análisis de carga semanal, podemos observar que los valores de los factores no varían tanto, ya que estamos analizando las mismas cargas solo que en un periodo distinto. En este caso, se analizó la demanda promedio a lo largo de una semana, por lo cual, podemos observar claramente la variación de la demanda en los días con más y menos actividad, como los sábados y domingos. Los días elegidos para hacer el análisis corresponden a días de

actividad normal, por lo cual podemos observar que las pérdidas no rebasan el valor obtenido en el análisis del día con mayor demanda.

- **En un año.**



GRAFICA 16. CURVA DE DEMANDA DURANTE UN AÑO DEL ALIMENTADOR "F"

La curva nos muestra el perfil de demanda promedio de todos los días del año 2005 del alimentador F. Se muestra un comportamiento de demanda constante durante el año, con un corto periodo con demanda máxima de 727.668 kW en el mes de junio. Durante junio nos encontramos todavía en un periodo de actividades normales. Además, se observan dos periodos donde la demanda baja debido a vacaciones académicas estos periodos se muestran en los meses de Julio y Diciembre, donde se alcanza una demanda mínima de 269.73 kW, y que además, marcan el final de semestres de actividades escolares. Esto también se puede observar debido al tipo de carga predominante que tenemos en este alimentador, que corresponde a institutos.

En los institutos de la Universidad, la demanda no disminuye tanto en los periodos de vacaciones, ya que se mantienen en curso proyectos de investigación que no pueden ser interrumpidos.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 727.668 kW
- **Demanda Promedio:** 509.776 kW
- **Demanda Mínima:** 269.73 kW

Con estos valores calculamos los factores que nos describan el comportamiento de la carga:

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{509.776}{727.668} = 0.700$$

El factor de carga indica que poco más de la mitad del intervalo, en este caso 365 días, es decir un año, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 37 %.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{727.668}{4050} = 0.179$$

El factor de demanda nos indica que el 17.9 % de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{727.668}{7500} = 0.097$$

El factor de utilización nos dice que el 9.7 % de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito F en el momento de la demanda máxima de este.

4. **Demandas Máximas Individuales.**

Subestación	Demanda Máx (kVA)
Palomar	119.0
Incinerador de basura	69.0
Instituto de ecología	157.0
Instituto de biología C	120.0
Jardín botánico exterior	56.3
Pozo 2	222.0
Bombas de riego	93.8
Mesa vibradora 1	150.0
Mesa vibradora 2	45.0
Vivero alto (bombas)	254.3
Instituto de biología B	127.0
Vivero alto (cabañas)	23.0
Instituto de biología	60.0
Unidad de Seminarios	75.0
TOTAL	**1571.4**

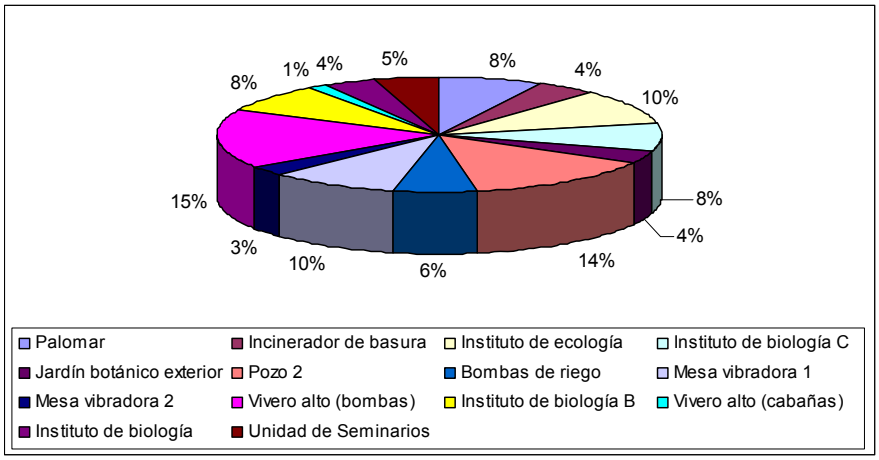


TABLA 39. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "F" ANUAL.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{1571.4}{14} = 112.243\,\text{kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga, en este caso, encontramos que cada carga esta contribuyendo con 112.243 kW

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{727.668}{1571.4} = 0.463$$

Con este valor podemos decir que el 46.3 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.553$$

$$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.574$$

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.574.

8. Energía Total Consumida.

3181 MW/año

9. Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1F a Alim. F	0.131			280.223	0.574	0.758	212.305	45073.467	5915.184
1F a Palomar	0.002	119.0	0.920	12.447	0.574	0.758	9.430	88.921	0.145
2FE a 1F	0.001			44.150	0.574	0.758	33.449	1118.830	0.731
2FE a 3F	0.564			195.147	0.574	0.758	147.849	21859.280	12335.292
3F a A	0.073			32.677	0.574	0.758	24.757	612.896	44.535
A a Inc. Basura	0.004	69.0	0.880	7.545	0.574	0.758	5.716	32.675	0.126
A a Pozo 2	0.004	222.0	0.850	25.132	0.574	0.758	19.040	362.540	1.401
3F a Bomba Riego	0.039	93.8	0.800	11.282	0.574	0.758	8.548	73.066	2.881
Multif. a 3F	0.294			43.516	0.574	0.758	32.969	1086.958	319.328
5A a Multif.	0.103	75.0	0.900	8.019	0.574	0.758	6.075	36.908	3.803
5A a B.tanque2	0.006	157.5	0.900	16.839	0.574	0.758	12.758	162.766	0.998
5A a B.tanque1	0.103	96.8	0.900	10.350	0.574	0.758	7.841	61.483	6.335
4A a 5A	0.007			35.497	0.574	0.758	26.894	723.277	5.323
4A a Med. Dep.	0.013	80.3	0.930	8.308	0.574	0.758	6.295	39.624	0.499
3F a 4F	0.106			118.954	0.574	0.758	90.123	8122.168	863.307
4F a I. Ecología	0.004	157.0	0.870	17.365	0.574	0.758	13.156	173.081	0.669
4F a 5F	0.032			101.590	0.574	0.758	76.967	5923.928	190.725
5F a 6F	0.002			35.882	0.574	0.758	27.185	739.049	1.208
6F a Inst. Biología	0.004	*60.0*	0.780	7.402	0.574	0.758	5.608	31.449	0.122
6F a B	0.056			28.480	0.574	0.758	21.578	465.590	26.273
B a Inst. Bio B	0.023	*127.0*	0.870	14.047	0.574	0.758	10.642	113.255	2.626
B a Inst. Bio C	0.031	*120.0*	0.800	14.434	0.574	0.758	10.935	119.583	3.698
5F a 7F	0.039			65.707	0.574	0.758	49.782	2478.208	97.701
7F a Jardin Bot.	0.004	56.3	0.900	6.019	0.574	0.758	4.560	20.798	0.080
7F a Mesa V 1	0.064	150.0	0.750	19.245	0.574	0.758	14.581	212.593	13.558
Mesa V 1 a Mesa V 2	0.004	45.0	0.900	4.811	0.574	0.758	3.645	13.287	0.051
7F a 8F	0.317			35.632	0.574	0.758	26.995	728.754	230.688
8F a Uni. Semi.	0.004	75.0	0.900	8.019	0.574	0.758	6.075	36.908	0.143
8F a 9F	0.042			27.613	0.574	0.758	20.920	437.655	18.438
9F a Pozo 3	0.016	221.3	0.900	23.661	0.574	0.758	17.926	321.341	5.216
9F a Cabaña	0.091	23.0	0.560	3.952	0.574	0.758	2.994	8.965	0.818
								Total	**20091.905**

TABLA 40. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “F” PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 20.091 Kw/hr.
Las pérdidas totales en el circuito por día: 482.184 kW/hr/día.
Las pérdidas totales al año: 175.997 MW/hr/año.

10. Horas equivalentes.

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.574 \times 24 \text{ hrs.} = 13.77 \text{ hrs.}$$

Conclusiones del análisis anual.

En este análisis, los datos que más información nos proporcionan son la energía aproximada consumida y el perfil de carga anual. En el perfil de carga podemos deducir las causas que afectan el comportamiento de la carga a lo largo de un año. De acuerdo a los valores obtenidos, podemos decidir que el mejor caso para el análisis de las pérdidas es el caso 3 del análisis diario, pues estamos considerando datos de demanda para cada hora, y realizando un promedio de todos los días del año, con esto tenemos datos más representativos de la carga, a diferencia de un semanal o un anual.

V. 4. 4 Anillo IV.

Alimentadores. Está formado por los alimentadores G y H.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo IV	**7.742**	**22**	**31**	**12237.5**
Alimentador G	4.784	13	18	7437.5
Alimentador H	2.958	9	13	4800

TABLA 41. ANILLO IV DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Punto abierto. Se encuentra abierto entre el seccionador 8HG y 12GH.

V. 4. 4. 1 Alimentador G.

Diagrama unifilar.

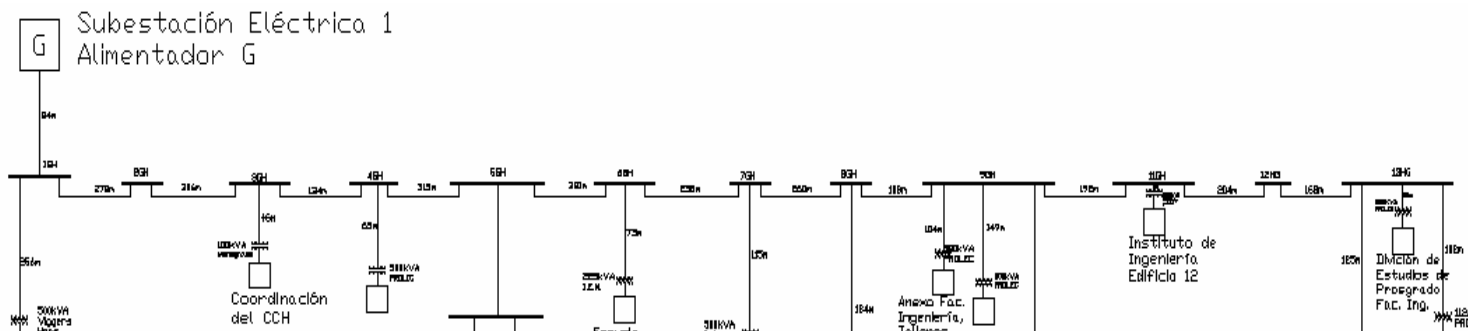


DIAGRAMA 22. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “G”

Plano.

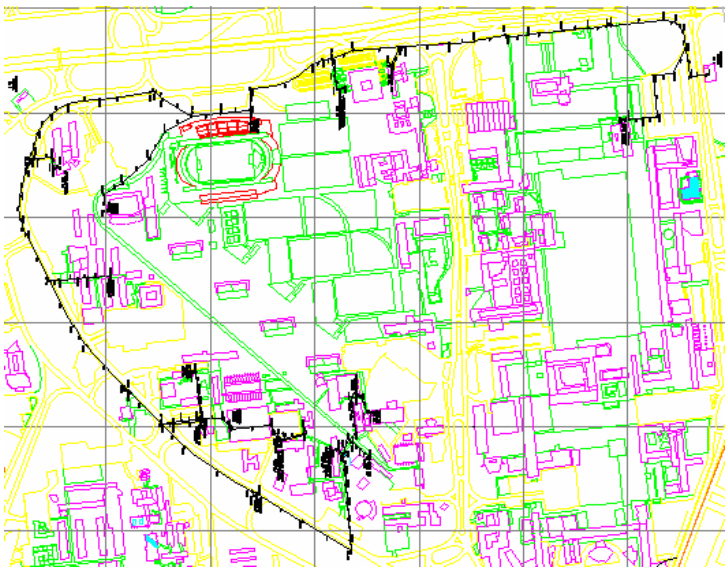


FIGURA 56. PLANO ALIMENTADOR “G”.

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador G se compone de 13 seccionadores y 18 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1GH	**500**
Biblioteca Central	500
2GH	
3GH	**100**
Coordinacion de CCH	100
4GH	**500**
Consejo Académico	500
5GH	**450**
Estadio de prácticas	300
Fronton cerrado	150
6GH	225
Escuela Nacional de Trabajo Social	225
7GH	**500**
Facultad de Contaduría y Administración	500
8GH	**300**
Laboratorio de termofluídos	300
9GH	**1000**
Ingeniería	500
Anexo Facultad de Ingeniería (Talleres)	500
10GH	2225
Edificio Valdes Vallejo 1	1000
Edificio Valdes Vallejo 2	1000
Posgrado Facultad Ingeniería A	225
11GH	300
Instituto de Ingeniería, Edif 12	300
12GH	
13GH	1337.5
Posgrado Facultad Ingeniería B yC	225
Nave Hidráulica Talleres	500
Torre Ingeniería	500
Vivero bajo	112.5
TOTAL	**7437.5**

TABLA 42. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR “G”

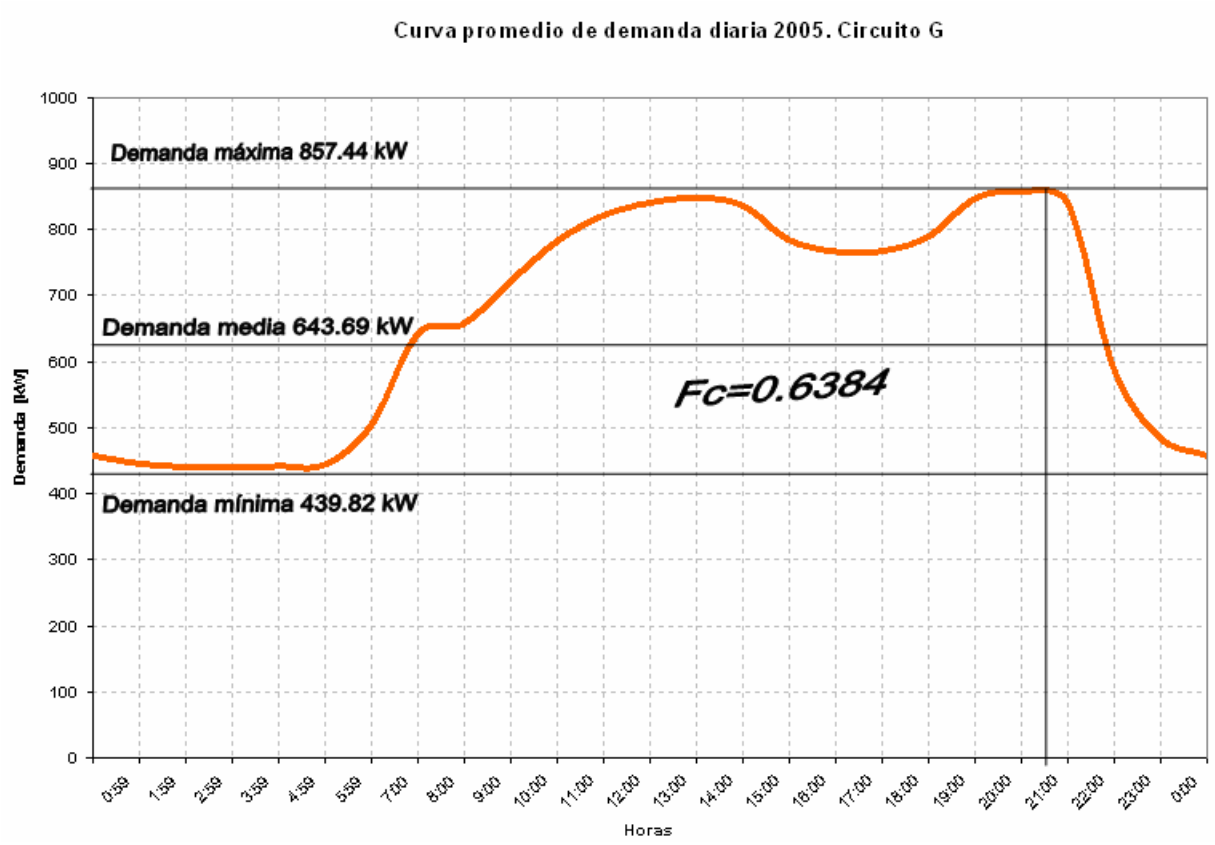
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador G es de 7.437 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG, 6 AWG, 1/0 AWG y 2 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

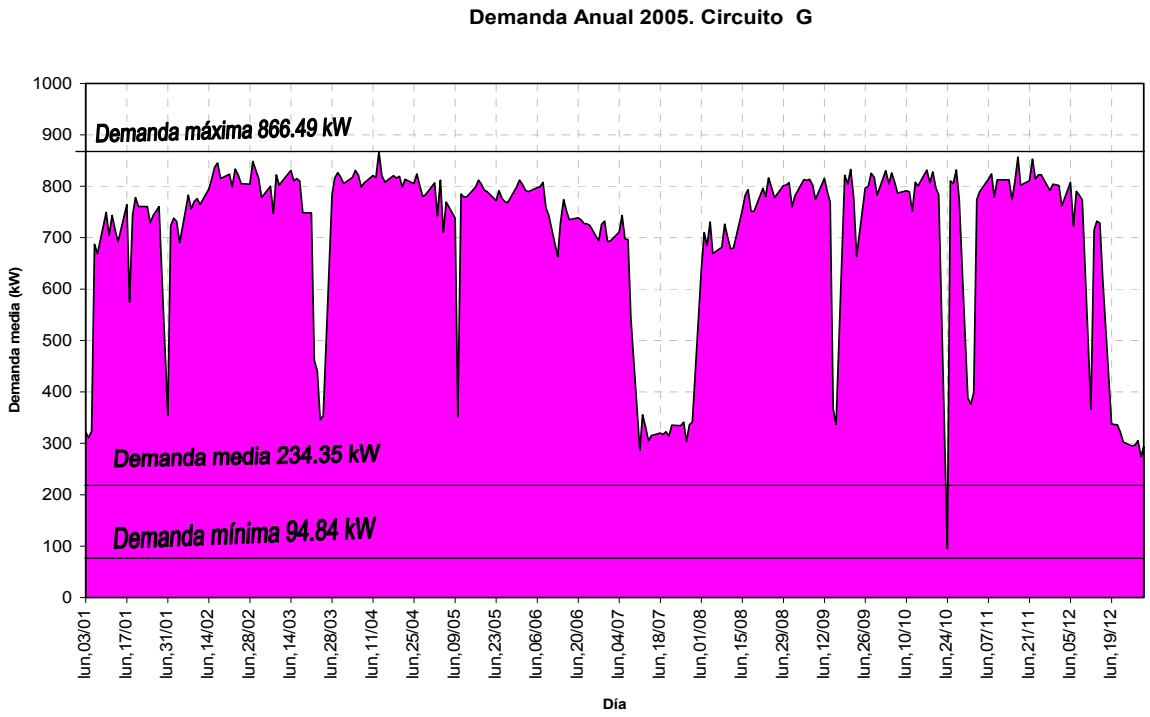
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[?/km]	L [km]	R [?]
Alim G. a 1GH	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.084	0.014
1GH a Biblio C.	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.256	0.042
1GH a 2GH	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.278	0.273
2GH a 3GH	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.306	0.050
3GH a Coord. CCH	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.046	0.008
3GH a 4GH	1H - 3Φ - 6AWG	1.554	0.134	0.208
4GH a Consejo Ac.	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.065	0.011
4GH a 5GH	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.315	0.122
5GH a C	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
C a Estadio Prac.	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.230	0.038
C a Fronton Cer.	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.256	0.251
5GH a 6GH	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.389	0.382
6GH a ENTS	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.073	0.012
6GH a 7GH	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.238	0.234
7GH a Fac. Conta	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.115	0.019
7GH a 8GH	3H - 1Φ - 6AWG	1.554	0.260	0.404
8GH a Lab. Termo	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.184	0.030
8GH a 9GH	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.108	0.042
9GH a T.Anex, FI	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.104	0.017
9GH a Anex. FI	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.149	0.146
9GH a 10GH	3H - 1Φ - 6AWG	1.554	0.209	0.325
10GH a POSG A FI	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.014	0.014
10GH a D	1H - 3Φ - 2AWG	0.613	0.020	0.012
D a VALDEZ V 1	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.030	0.029
D a VALDEZ V 2	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.039	0.038
9GH a 11GH	1H - 3Φ - 6AWG	1.554	0.192	0.298
11GH a INST ING 12	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.004	0.001
11GH a 12GH	1H - 3Φ - 3/0AWG	0.244	0.204	0.050

TABLA 43. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR “G”

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 17. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL ALIMENTADOR “G”



GRAFICA 18. CURVA DE DEMANDA DURANTE UN AÑO DEL ALIMENTADOR "G"

- **Pérdidas en conductores**

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	Rlo2 [W]
Alim G. a 1GH	0.014			242.857	0.638	0.799	194.048	37654.439	516.925
1GH a Biblio C.	0.042	57	0.870	6.304	0.638	0.799	5.037	25.375	1.062
1GH a 2GH	0.273			236.553	0.638	0.799	189.010	35724.849	9750.854
2GH a 3GH	0.050			230.248	0.638	0.799	183.973	33846.008	1692.625
3GH a Coord. CCH	0.008	79	0.900	8.446	0.638	0.799	6.749	45.547	0.342
3GH a 4GH	0.208			221.802	0.638	0.799	177.224	31408.344	6538.244
4GH a Consejo Ac.	0.011	160	0.900	17.107	0.638	0.799	13.669	186.830	1.985
4GH a 5GH	0.122			204.695	0.638	0.799	163.555	26750.380	3256.876
5GH a C	0.002			13.685	0.638	0.799	10.935	119.571	0.195
C a Estadio Prac.	0.038	56	0.800	6.736	0.638	0.799	5.382	28.966	1.089
C a Fronton Cer.	0.251	65	0.900	6.950	0.638	0.799	5.553	30.834	7.750
5GH a 6GH	0.382			191.010	0.638	0.799	152.621	23293.043	8896.174
6GH a ENTS	0.012	100	0.910	10.574	0.638	0.799	8.449	71.385	0.852
6GH a 7GH	0.234			180.436	0.638	0.799	144.172	20785.454	4856.953
7GH a Fac. Conta	0.019	245	0.870	24.634	0.638	0.799	19.683	387.435	7.282
7GH a 8GH	0.404			155.801	0.638	0.799	124.488	15497.322	6259.523
8GH a Lab. Termo	0.030	100	0.900	10.692	0.638	0.799	8.543	72.980	2.195
8GH a 9GH	0.042			145.110	0.638	0.799	115.945	13443.334	561.166
9GH a T.Anex, FI	0.017	80	0.900	8.553	0.638	0.799	6.834	46.707	0.794
9GH a Anex. FI	0.146	170	0.980	16.692	0.638	0.799	13.337	177.884	26.023
9GH a 10GH	0.325			119.864	0.638	0.799	95.774	9172.621	2978.180
10GH a POSG A FI	0.014	82	0.910	8.671	0.638	0.799	6.928	47.999	0.660
10GH a D	0.012			111.193	0.638	0.799	88.846	7893.549	96.825
D a VALDEZ V 1	0.029	520	0.900	55.597	0.638	0.799	44.423	1973.387	58.125
D a VALDEZ V 2	0.038	520	0.900	55.597	0.638	0.799	44.423	1973.387	75.562
9GH a 11GH	0.298			19.034	0.638	0.799	15.208	231.296	68.989
11GH a INST ING 12	0.001	35	0.800	4.210	0.638	0.799	3.364	11.315	0.007
11GH a 12GH	0.050			14.824	0.638	0.799	11.845	140.296	6.972
12GH a 13GH	0.027			66.353	0.638	0.799	53.017	2810.826	77.175
13GH a Pos ByC FI	0.019	90	0.870	9.954	0.638	0.799	7.954	63.261	1.180
13GH a E	0.010			56.399	0.638	0.799	45.064	2030.722	19.938
E a NAV. HIDR	0.123	300	0.800	36.084	0.638	0.799	28.832	831.291	102.021
E a TORRE FI	0.047	190	0.900	20.314	0.638	0.799	16.231	263.459	12.416
13GH a VIV. BAJO	0.158	45	0.900	4.811	0.638	0.799	3.844	14.779	2.342
		2894.000						**Total**	**45879.300**

TABLA 44. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “G” PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 45.879 kW-hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 1101.096 kW-hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 401,900.04 kW/hr/año.

V. 4. 4. 2 Alimentador H.

Diagrama unifilar.

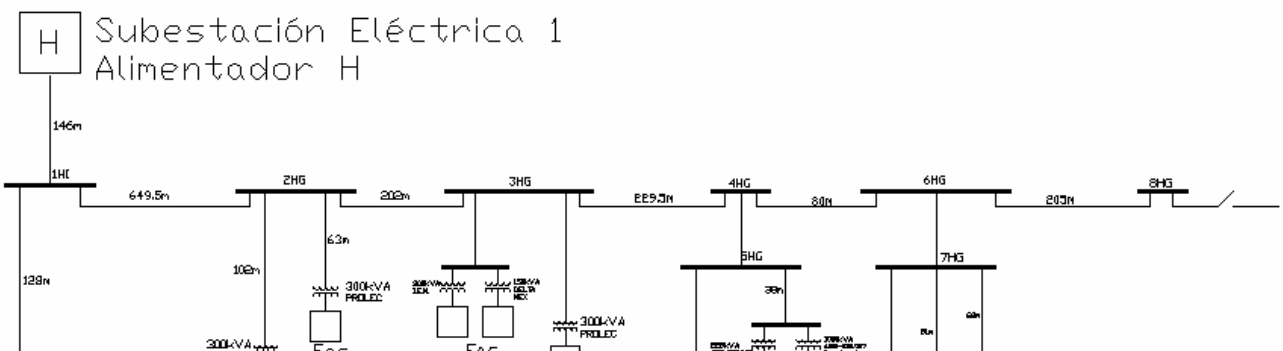


DIAGRAMA 23. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “H”

Plano.

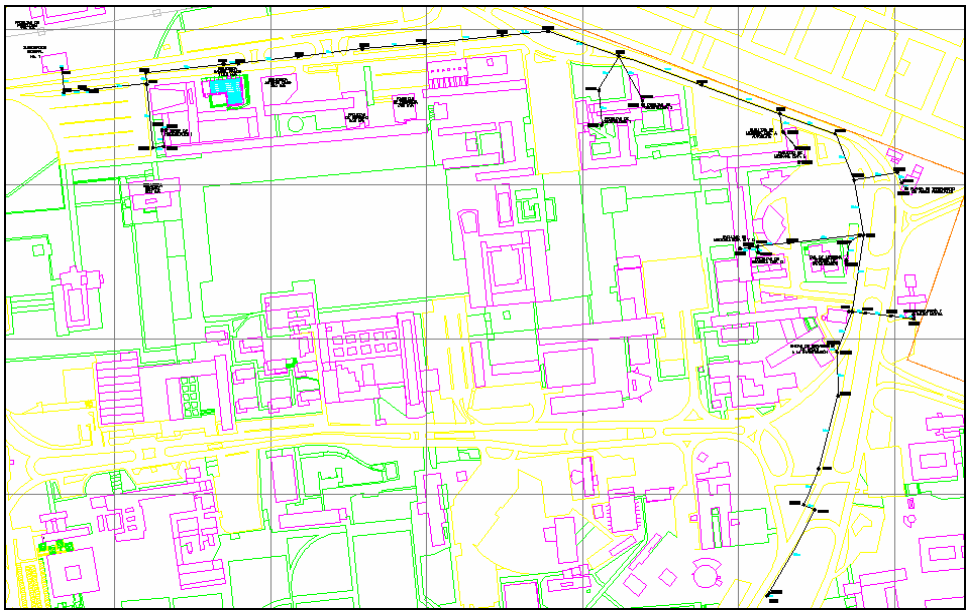


FIGURA 57. PLANO ALIMENTADOR “H”.

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador H se compone de 9 seccionadores y 13 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1HG	**300**
Torre Humanidades 1	300
2HG	600
Facultad de Odontología 1 (sotano)	300
Facultad de Odontología 2 (estacionamiento)	300
3HG	**750**
Facultad de Medicina A1	300
Facultad de Medicina A2	150
Facultad Medicina Autoclave	300
4HG	
5HG	**1825**
Facultad Medicina Investigacion 1	225
Facultad Medicina Investigacion 2	1000
Facultad Medicina B y C	300
Facultad Medicina D	300
6HG	
7HG	**1325**
Unidad Servicios Apoyo Investigación	750
Departamento Psiquiatría	75
Planta Tratamiento Aguas Residuales	500
8HG	
9HI	
TOTAL	**4800**

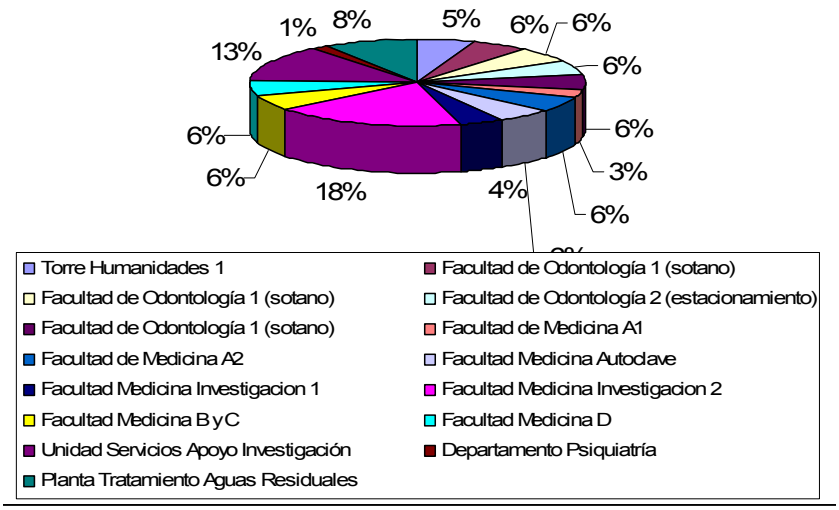


TABLA 45. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR “H”

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador H es de 4.8 MVA.

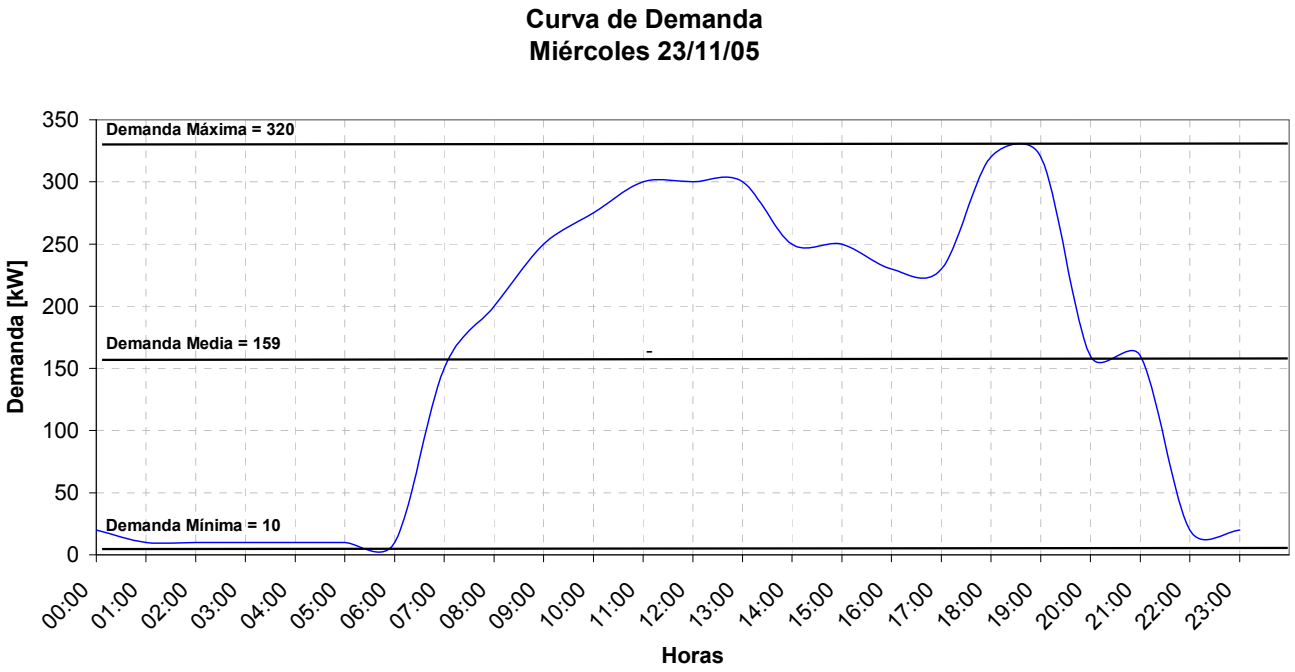
Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG, 6 AWG y 1/0 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
1HG a ALIMENT H	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.146	0.024
1HG a TH 1 y FF	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.128	0.126
2HG a 1HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.650	0.106
2HG a ODONTO 1	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.102	0.100
2HG a ODONTO 2	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.063	0.062
3HG a 2HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.202	0.033
H a MED. ED A3	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.070	0.069
H a MED. ED A2	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.040	0.039
3HG a H	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.030	0.029
3HG a MED. ED A1	1H - 3Φ - 6AWG	1.554	0.060	0.093
3HG a 4HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.230	0.038
G a FM. INV. 2	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
G a FM. INV. 1	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.038	0.015
5HG a G	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
F a MEDICINA D	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.137	0.135
F a MEDICINA BYC	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.015	0.015
5HG a F	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.137	0.135
4HG a 5HG	1H - 3Φ - 4/0AWG	0.387	0.010	0.004
6HG a 4HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.080	0.013
7HG a USAI	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.062	0.024
7HG a Depto PSIQ	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.081	0.080
7HG a PLA. TRATA	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.235	0.230
6HG a 7HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
8HG a 6HG	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.205	0.024
8HG a 9HI	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.010	0.002
12GH a 8HG	1H - 3Φ - 250kCM	0.163	0.198	0.032

TABLA 46. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR “H”

Análisis de carga y demanda.

CASO 1. Día ordinario dentro del ciclo escolar.



GRAFICA 19. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR “H”

La curva nos el comportamiento de demanda durante el día, se observa que se desde las 00:00 horas hasta las 6:00 hrs., se tiene una carga

constante de 10 kW debido a iluminación exterior, a partir de esta hora la demanda aumenta hasta los 300 kW que se alcanza entre las 11:00 y las 13:00 horas, esto es debido al comienzo de labores en la universidad, alimentando iluminación interior, equipos de computo y de oficina. Disminuye la demanda al finalizar la primer parte de labores del día , se incrementa de las 17:00 a las 19:00 horas de hasta los 320 kW que es la demanda máxima para este día debido a la necesidad de iluminación tanto interior como exterior. a las 23:00 horas finalizan por completo las actividades regresando al punto de demanda mínima.

De la gráfica obtuvimos los valores de demanda representativos.

- **Demanda Máxima:** 320 kW.
- **Demanda Promedio:** 159 kW.
- **Demanda Mínima:** 10 kW.

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{159}{320} = 0.4968$$

El factor de carga indica que en la mitad del intervalo de 24 horas, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 49.68%.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{320}{4800} = 0.0666$$

El factor de demanda nos indica que el 6.66% de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{320}{7500} = 0.042$$

El factor de utilización nos dice que el 4.2% de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito H en el momento de la demanda máxima de este.

4. Demandas Máximas Individuales

Torre de Humanidades	30
Odontoligía 1	30
Odontoligía 2	35
Medicina A1	25
Medicina A2	30
Medicina A3	30
Medicina Ed. By C	30
Medicina Ed. D	25
FM. INV. 2	20
FM. INV. 1	20
USAI	30
Depto. Psiquia	20
Planta trata.	35
TOTAL	**390**

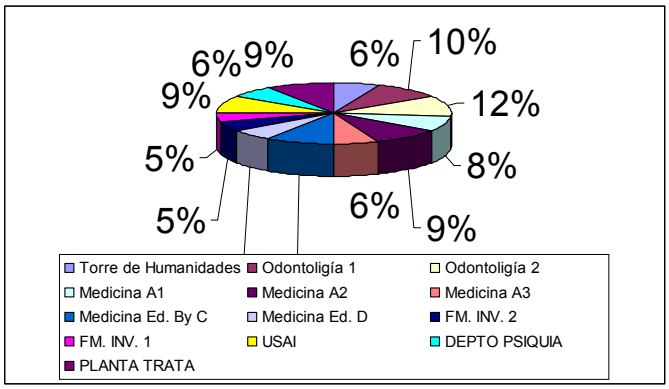


TABLA 47. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "H" PARA UN DÍA ORDINARIO

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{390}{13} = 30 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga en el momento del pico de demanda, en este caso es de 30 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{320}{390} = 0.8205$$

Con este valor podemos decir que el 82.05 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1= \ 0.3Fc + 0.7FC^2 = \quad 0.321$$

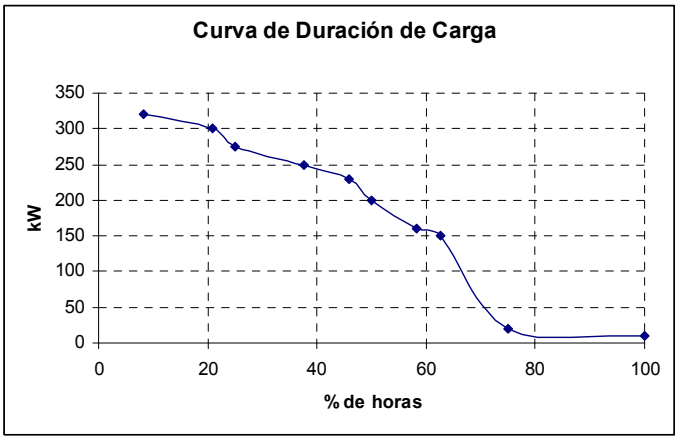
$$FPe2= \ 0.4Fc + 0.6FC^2 = \quad 0.347$$

8. Energía Total Consumida

3816.160 kW/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
320	2	8.33333333	8.33333333
300	3	12.5	20.8333333
275	1	4.16666667	25
250	3	12.5	37.5
230	2	8.33333333	45.8333333
200	1	4.16666667	50
160	2	8.33333333	58.3333333
150	1	4.16666667	62.5
20	3	12.5	75
10	6	25	100
Total	**24**	**100**	



GRAFICA 20. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA ORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR "H"

10. Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1HG a ALIMENT H	0.024			32.158	0.347	0.589	18.937	358.629	8.557
1HG a TH 1 y FF	0.126	30	0.960	3.007	0.347	0.589	1.771	3.136	0.394
2HG a 1HG	0.106			29.151	0.347	0.589	17.167	294.694	31.281
2HG a ODONTO 1	0.100	30	0.740	3.901	0.347	0.589	2.297	5.278	0.529
2HG a ODONTO 2	0.062	35	0.800	4.210	0.347	0.589	2.479	6.146	0.380
3HG a 2HG	0.033			21.040	0.347	0.589	12.390	153.517	5.068
H a MED. ED A3	0.069	25	0.950	2.532	0.347	0.589	1.491	2.224	0.153
H a MED. ED A2	0.039	30	0.950	3.039	0.347	0.589	1.789	3.202	0.126
3HG a H	0.029			15.469	0.347	0.589	9.109	82.983	2.444
3HG a MED. ED A1	0.093	30	0.950	3.039	0.347	0.589	1.789	3.202	0.298
3HG a 4HG	0.038			12.430	0.347	0.589	7.320	53.583	2.010
G a FM. INV. 2	0.004	30	0.870	3.318	0.347	0.589	1.954	3.818	0.015
G a FM. INV. 1	0.015	25.000	0.900	2.673	0.347	0.589	1.574	2.478	0.036
5HG a G	0.004			5.991	0.347	0.589	3.528	12.447	0.048
F a MEDICINA D	0.135	20.000	0.900	2.138	0.347	0.589	1.259	1.586	0.213
F a MEDICINA BYC	0.015	20.000	0.890	2.162	0.347	0.589	1.273	1.622	0.024
5HG a F	0.135			4.301	0.347	0.589	2.533	6.414	0.863
4HG a 5HG	0.004			24.919	0.347	0.589	14.675	215.353	0.832
6HG a 4HG	0.013			9.308	0.347	0.589	5.481	30.047	0.393
7HG a USAI	0.024	30.000	0.900	3.208	0.347	0.589	1.889	3.568	0.085
7HG a Depto PSIQ	0.080	20.000	0.900	2.138	0.347	0.589	1.259	1.586	0.126
7HG a PLA. TRATA	0.230	35.000	0.850	3.962	0.347	0.589	2.333	5.444	1.253
6HG a 7HG	0.002				0.347	0.589	0.000	0.000	0.000
8HG a 6HG	0.024				0.347	0.589	0.000	0.000	0.000
8HG a 9HI	0.002				0.347	0.589	0.000	0.000	0.000
12GH a 8HG	0.032				0.347	0.589	0.000	0.000	0.000
								Total	55.130

TABLA 48. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “H” PARA 6000 V.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.0551 kW/hr.

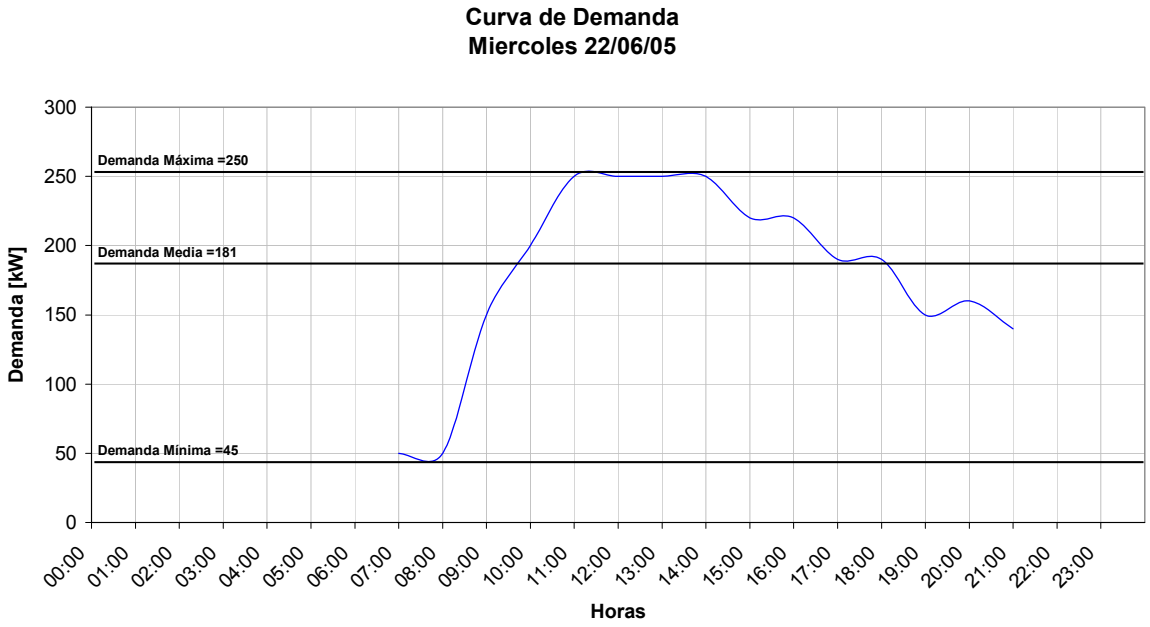
Las pérdidas totales en el circuito por día: 1.323 kW/hr/día.

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.347 \times 24 \text{ hrs.} = 8.328 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 8.328 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

CASO 2. Día con servicio parcial del alimentador.



GRAFICA 21. CURVA DE DEMANDA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES DEL ALIMENTADOR "H"

El perfil de carga nos muestra una salida del alimentador desde las 21:00 hrs. hasta las 7:00 hrs. Pudiera deberse a mantenimiento o reparación donde no se tienen registradas demandas, la carga aparece a partir de las 7:00 hrs. Y va en aumento debido al inicio de actividades escolares la demanda se va incrementando hasta las 11:00 hrs que es cuando alcanza su valor de demanda máxima que es de 250 kW. La demanda se mantiene constante por un lapso de 2 horas y va disminuyendo hasta las 21:00 hrs. Que marcan el fin de actividades escolares.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 250 kW.
- **Demanda Promedio:** 181.333 kW.
- **Demanda Mínima:** 45 kW.

1. Factor de Carga

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{181.33}{250} = 0.7253$$

El factor de carga nos indica un pico muy alto de poca duración, un 72.5 % del periodo de análisis.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{250}{4800} = 0.05208$$

El factor de demanda muestra que más del 5% de la capacidad del circuito instalada está siendo utilizado durante el pico de carga.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{250}{7500} = 0.0333$$

En el momento de la carga máxima del circuito, se está utilizando un 3.33% de la capacidad total de la Subestación General No. 1.

4. Demandas Máximas Individuales

Torre de Humanidades	30
Odontoligía 1	20
Odontoligía 2	30
Medicina A1	30
Medicina A2	25
Medicina A3	15
Medicina Ed. By C	20
Medicina Ed. D	30
FM. INV. 2	35
FM. INV. 1	35
USAI	25
Depto. Psiquia	35
Planta trata.	45
TOTAL	**375**

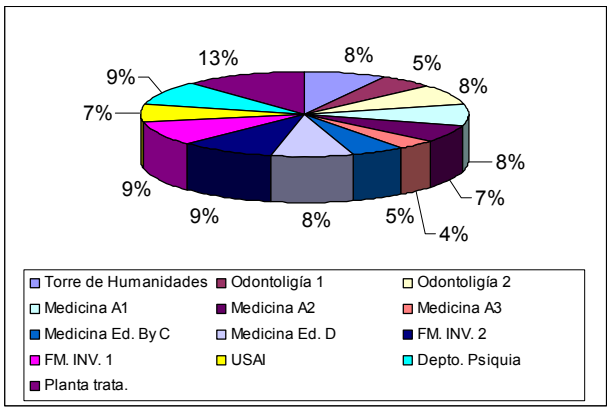


TABLA 49. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR “H” PARA UN DÍA EXTRAORDINARIO

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{375}{13} = 28.84 \text{ kW}$$

El promedio de demanda máxima de las cargas es de 28.84 kW.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{250}{375} = 0.667$$

El factor de coincidencia es de 66.67% que nos indica que la mayor parte de la carga es coincidente en el pico de carga.

7. Factor de Pérdidas

FPe1= $0.3Fc + 0.7FC^2$ = 0.586

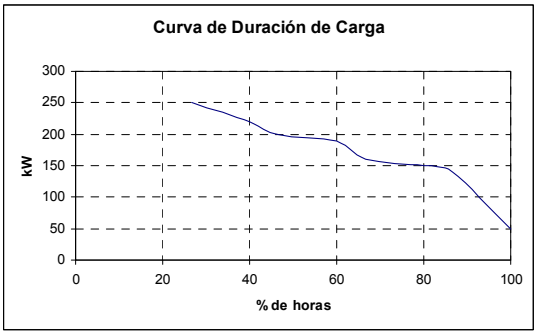
FPe2= $0.4Fc + 0.6FC^2$ = 0.606

8. Energía Total Consumida

4352.156 kW/hr/día

9. Curva de duración de carga

kW	Horas	Porcentaje	Acumulado
250	4	26.6666667	26.6666667
220	2	13.3333333	40
200	1	6.66666667	46.6666667
190	2	13.3333333	60
160	1	6.66666667	66.6666667
150	2	13.3333333	80
140	1	6.66666667	86.6666667
50	2	13.3333333	100
Total	**15**	**100**	



GRAFICA 22. CURVA DE DURACIÓN DE CARGA DE UN DÍA EXTRAORDINARIO DE ACTIVIDADES EN EL ALIMENTADOR "H"

De la curva cabe destacar que sólo un 26% del tiempo se tiene una demanda mayor a 250 kW,

10. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1HG a ALIMENT H	0.024			32.994	0.606	0.778	25.685	659.706	15.741
1HG a TH 1 y FF	0.126	30	0.960	3.007	0.606	0.778	2.341	5.480	0.689
2HG a 1HG	0.106			29.987	0.606	0.778	23.344	544.937	57.844
2HG a ODONTO 1	0.100	20	0.740	2.601	0.606	0.778	2.025	4.099	0.410
2HG a ODONTO 2	0.062	30	0.800	3.608	0.606	0.778	2.809	7.891	0.488
3HG a 2HG	0.033			23.778	0.606	0.778	18.510	342.632	11.311
H a MED. ED A3	0.069	30	0.950	3.039	0.606	0.778	2.365	5.596	0.385
H a MED. ED A2	0.039	25	0.950	2.532	0.606	0.778	1.971	3.886	0.153
3HG a H	0.029			18.207	0.606	0.778	14.174	200.891	5.917
3HG a MED. ED A1	0.093	15	0.950	1.519	0.606	0.778	1.183	1.399	0.130
3HG a 4HG	0.038			16.688	0.606	0.778	12.991	168.762	6.330
G a FM. INV. 2	0.004	20	0.870	2.212	0.606	0.778	1.722	2.965	0.011
G a FM. INV. 1	0.014687	30	0.900	3.2075015	0.606	0.778	2.497	6.235	0.092
5HG a G	0.003865			5.41957149	0.606	0.778	4.219	17.799	0.069
F a MEDICINA D	0.134508	35	0.900	3.74208508	0.606	0.778	2.913	8.486	1.141
F a MEDICINA BYC	0.014727	35	0.890	3.78413098	0.606	0.778	2.946	8.678	0.128
5HG a F	0.134508			7.52621606	0.606	0.778	5.859	34.326	4.617
4HG a 5HG	0.003865			24.9192808	0.606	0.778	19.399	376.308	1.454
6HG a 4HG	0.013074			11.5092701	0.606	0.778	8.960	80.273	1.050
7HG a USAI	0.023964	25	0.900	2.67291791	0.606	0.778	2.081	4.330	0.104
7HG a Depto PSIQ	0.079527	35	0.900	3.74208508	0.606	0.778	2.913	8.486	0.675
7HG a PLA. TRATA	0.230234	45	0.850	5.09426708	0.606	0.778	3.966	15.727	3.621
6HG a 7HG	0.001634				0.606	0.778	0.000	0.000	0.000
8HG a 6HG	0.024204				0.606	0.778	0.000	0.000	0.000
8HG a 9HI	0.001634				0.606	0.778	0.000	0.000	0.000
12GH a 8HG	0.032359				0.606	0.778	0.000	0.000	0.000
								Total	112.359

TABLA 50. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “H” PARA 6000 V. EN UN DÍA EXTRAORDINARIO.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.112 kW/hr.

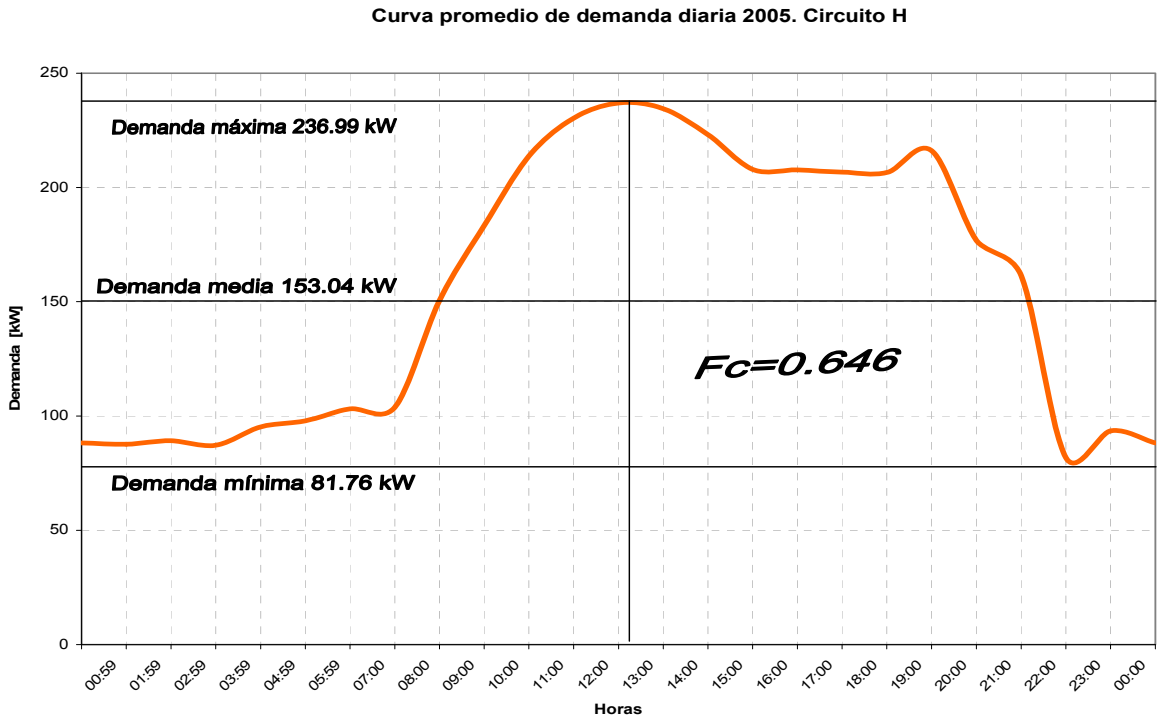
Las pérdidas totales en el circuito por día: 2.688 kW/hr/día.

11. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.606 \times 24 \text{ hrs.} = 14.54 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 14.54 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

CASO 3. Promedio de demanda diaria durante un año.



GRAFICA 23. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA ANUAL DEL ALIMENTADOR "H"

La curva nos muestra el perfil de demanda promedio de todos los días del año 2005 del alimentador H, su comportamiento es constante desde las 23:00 hasta las 8:00 am, con una carga de 81.76 kW debido a que esas horas no hay actividad en la Universidad, y sólo hay consumo por iluminación exterior. La carga aumenta desde las 7:00 hrs. Hasta las 13:00 hrs del día con el comienzo de las actividades académicas hasta llegar al pico de demanda máxima que es de 236.99 kW. la carga es en su mayoría equipo de computo e iluminación interior, la demanda disminuye y se vuelve a incrementar a las 19:00 hrs. Por la necesidad de iluminación al interior de los edificios. Con el fin del día de actividades la demanda disminuye hasta llegar al valor base de demanda que es por iluminación exterior en su mayoría. De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos.

- **Demanda Máxima:** 236.988 kW.
- **Demanda Promedio:** 153.043 kW.
- **Demanda Mínima:** 81.76 kW.

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{153.043}{236.988} = 0.646$$

El factor de carga nos indica un pico muy alto de poca duración, un 64.6 % del periodo de análisis.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{236.988}{4800} = 0.049$$

El factor de demanda muestra que más del 4.9% de la capacidad del circuito instalada está siendo utilizado durante el pico de carga.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{236.988}{7500} = 0.032$$

En el momento de la carga máxima del circuito, se está utilizando un 3.2% de la capacidad total de la Subestación General No. 1.

4. Demandas Máximas Promedio Individuales

Torre de Humanidades	130
Odontoligía 1	216
Odontoligía 2	245
Medicina A1	85
Medicina A2	32
Medicina A3	145
Medicina Ed. By C	89
Medicina Ed. D	234
FM. INV. 2	115
FM. INV. 1	257
USAI	310
Depto. Psiquia	36
Planta trata.	310
TOTAL	**2204**

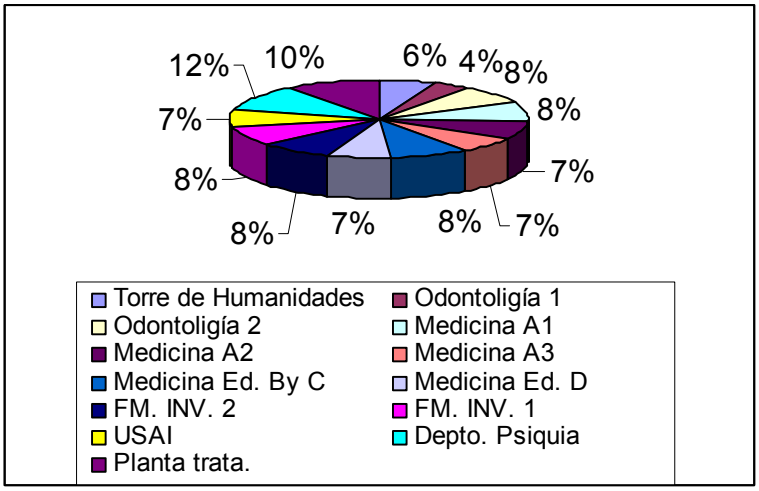


TABLA 51. DEMANDAS MÁXIMAS PROMEDIO INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR “H” ANUAL

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{2204}{13} = 169.54 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga.

6. **El factor de coincidencia es**

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{236.988}{2204} = 0.1075$$

Con este valor podemos decir que el 10.75 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. **Factor de Pérdidas**

$$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.486$$
$$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.508$$

8. **Energía Total Consumida**

1340659.56 kW/año

9. **Pérdidas en conductores**

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1HG a ALIMENT H	0,024			184,364	0,508	0,713	131,404	17266,956	412,003
1HG a TH 1 y FF	0,126	130	0,960	13,030	0,508	0,713	9,287	86,255	10,840
2HG a 1HG	0,106			171,333	0,508	0,713	122,116	14912,423	1582,921
2HG a ODONTO 1	0,100	216	0,740	28,087	0,508	0,713	20,019	400,760	40,134
2HG a ODONTO 2	0,062	245	0,800	29,469	0,508	0,713	21,004	441,156	27,287
3HG a 2HG	0,033			113,777	0,508	0,713	81,094	6576,194	217,099
H a MED. ED A3	0,069	85	0,950	8,610	0,508	0,713	6,136	37,656	2,588
H a MED. ED A2	0,039	32	0,950	3,241	0,508	0,713	2,310	5,337	0,210
3HG a H	0,029			101,926	0,508	0,713	72,647	5277,606	155,448
3HG a MED. ED A1	0,093	145	0,950	14,687	0,508	0,713	10,468	109,579	10,214
3HG a 4HG	0,038			87,239	0,508	0,713	62,179	3866,242	145,012
G a FM. INV. 2	0,004	89	0,870	9,844	0,508	0,713	7,016	49,225	0,190
G a FM. INV. 1	0,015	234	0,900	25,019	0,508	0,713	17,832	317,970	4,670
5HG a G	0,004			34,862	0,508	0,713	24,848	617,410	2,386
F a MEDICINA D	0,135	115	0,900	12,295	0,508	0,713	8,763	76,798	10,330
F a MEDICINA BYC	0,015	257	0,890	27,786	0,508	0,713	19,804	392,217	5,776
5HG a F	0,135			40,082	0,508	0,713	28,568	816,126	109,775
4HG a 5HG	0,004			24,919	0,508	0,713	17,761	315,453	1,219
6HG a 4HG	0,013			72,087	0,508	0,713	51,379	2639,842	34,514
7HG a USAI	0,024	310	0,900	33,144	0,508	0,713	23,623	558,057	13,373
7HG a Depto PSIQ	0,080	36	0,900	3,849	0,508	0,713	2,743	7,526	0,599
7HG a PLA. TRATA	0,230	310	0,850	35,094	0,508	0,713	25,013	625,641	144,044
6HG a 7HG	0,002				0,508	0,713	0,000	0,000	0,000
8HG a 6HG	0,024				0,508	0,713	0,000	0,000	0,000
8HG a 9HI	0,002				0,508	0,713	0,000	0,000	0,000
12GH a 8HG	0,032				0,508	0,713	0,000	0,000	0,000
								Total	2930,633

TABLA 52. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “H” PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 2.931 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 70.344 kW/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 25 675.56 kW/hr/año.

10. Horas equivalentes

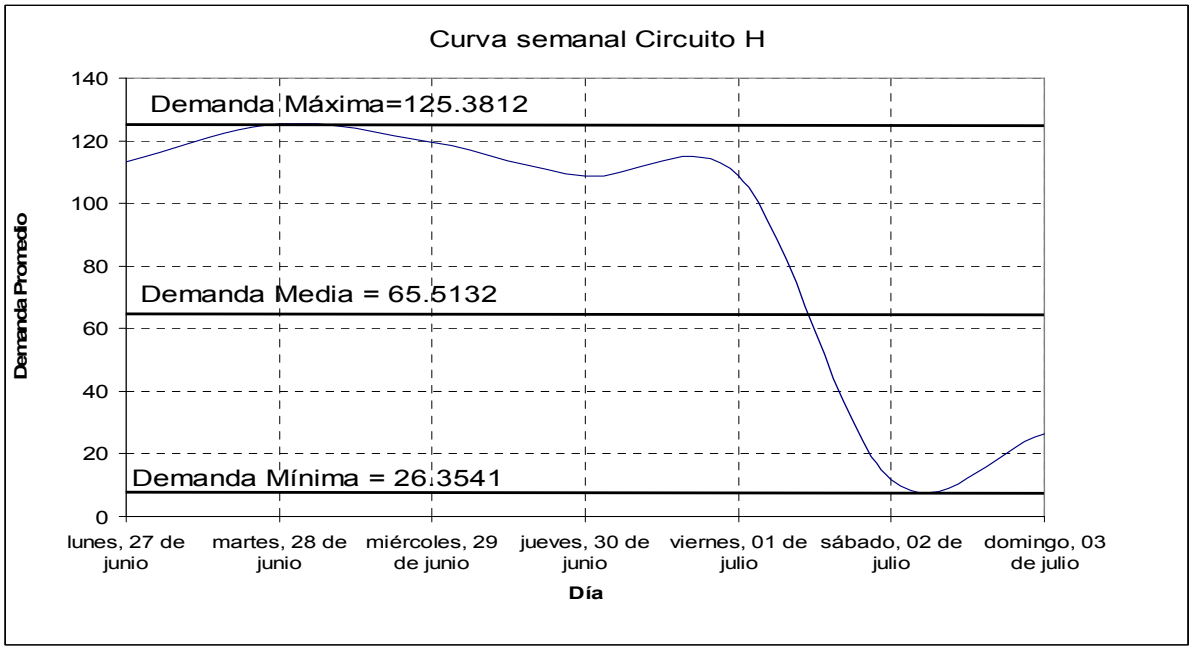
$$HE = FPe \times \Delta t = 0.508 \times 24 \text{ hrs.} = 12.192 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 12.192 hrs de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del análisis de demanda promedio diario durante un año.

Al hacer la comparación entre los dos caso presentados para este alimentador observamos que el factor de carga varía y que en el primer caso cuando el alimentador da servicio las 24 horas del día el factor de carga es mayor que en el segundo caso ya que el alimentador está fuera de servició por un lapso de 9 horas. El factor de carga es un parámetro determinante en el calculo de las pérdidas del circuito y entre mayor sea mayores son las pérdidas. Por lo tanto la energía consumida es mayor en el análisis de un día normal de operación del alimentador. El factor de demanda y el factor de utilización, disminuyen en el segundo caso debido a que se tiene una demanda máxima menor que en el segundo caso de actividades, sin embargo los factores de coincidencia son muy parecidos en ambos casos, esto es porque en cada uno de los picos se tiene sus correspondientes cargas coincidentes.

- **Análisis Semanal**



GRAFICA 24. CURVA DE DEMANDA DURANTE UNA SEMANA DEL ALIMENTADOR "H".

La curva nos muestra el comportamiento de demanda promedio de los días de una semana del año del alimentador H, Se observa que la demanda inicia en 118 kW. el día lunes, el día martes se observa que alcanza su valor de demanda máxima que es de 125.3812 kW. La demanda baja en los días miércoles y jueves, el día viernes tiene un ligero incremento. Los días sábado y domingo la demanda es mínima de 26.3541 kW. ya que hay poca gente

laborando estos días y la carga se debe en su mayoría a iluminación exterior y algunas labores en institutos.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos.

- **Demanda Máxima:** 125.3812 kW
- **Demanda Promedio:** 65.5132 kW
- **Demanda Mínima:** 26.3541 kW

1. Factor de Carga

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{65.5132}{125.3812} = 0.523$$

El factor de carga indica que poco más de la mitad del intervalo, en este caso 24 horas, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 52.3%.

2. Factor de Demanda

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{125.3812}{4800} = 0.26$$

El factor de demanda nos indica que el 2.6 % de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. Factor de Utilización

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{125.3812}{7500} = 0.017$$

El factor de utilización nos dice que el 1.7 % de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito A en el momento de la demanda máxima de este.

4. Demandas Máximas Individuales

Torre de Humanidades	10
Odontoligía 1	10
Odontoligía 2	15
Medicina A1	20
Medicina A2	20
Medicina A3	20
Medicina Ed. By C	15
Medicina Ed. D	15
FM. INV. 2	10
FM. INV. 1	10
USAI	25
Depto. Psiquia	10
Planta trata.	20
TOTAL	**200**

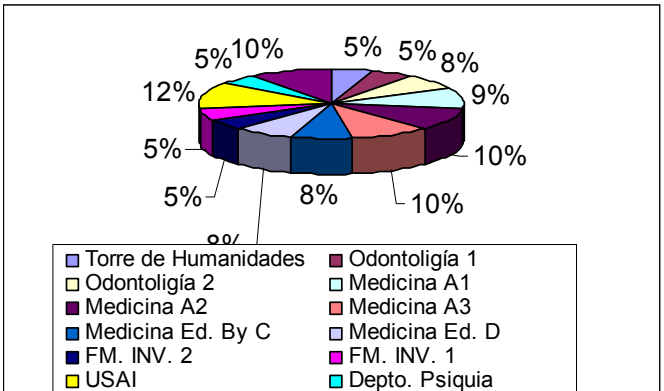


TABLA 53. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "H" SEMANAL.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{200}{13} = 15.3846 \text{ kW}$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{125.3812}{200} = 0.627$$

Con este valor podemos decir que el 62.7 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. Factor de Pérdidas

$FPe1 = 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.348$

$FPe2 = 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.373$

8. Energía Total Consumida

11006.2176 kW/hr/semana

9. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para esta semana:

TRAMO	R [Ω]	Dem. Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1HG a ALIMENT H	0.024			16.667	0.373	0.611	10.179	103.610	2.472
1HG a TH 1 y FF	0.126	10	0.960	1.002	0.373	0.611	0.612	0.375	0.047
2HG a 1HG	0.106			15.664	0.373	0.611	9.567	91.523	9.715
2HG a ODONTO 1	0.100	10	0.740	1.300	0.373	0.611	0.794	0.631	0.063
2HG a ODONTO 2	0.062	15	0.800	1.804	0.373	0.611	1.102	1.214	0.075
3HG a 2HG	0.033			12.560	0.373	0.611	7.671	58.839	1.942
H a MED. ED A3	0.069	20	0.950	2.026	0.373	0.611	1.237	1.531	0.105
H a MED. ED A2	0.039	20	0.950	2.026	0.373	0.611	1.237	1.531	0.060
3HG a H	0.029			8.508	0.373	0.611	5.196	27.001	0.795
3HG a MED. ED A1	0.093	20	0.950	2.026	0.373	0.611	1.237	1.531	0.143
3HG a 4HG	0.038			6.482	0.373	0.611	3.959	15.674	0.588
G a FM. INV. 2	0.004	15	0.870	1.659	0.373	0.611	1.013	1.027	0.004
G a FM. INV. 1	0.014687	15	0.900	1.60375075	0.373	0.611	0.979	0.959	0.014
5HG a G	0.003865			3.26280325	0.373	0.611	1.993	3.971	0.015
F a MEDICINA D	0.134508	10	0.900	1.06916717	0.373	0.611	0.653	0.426	0.057
F a MEDICINA BYC	0.014727	10	0.890	1.08118028	0.373	0.611	0.660	0.436	0.006
5HG a F	0.134508			2.15034744	0.373	0.611	1.313	1.725	0.232
4HG a 5HG	0.003865			24.9192808	0.373	0.611	15.219	231.622	0.895
6HG a 4HG	0.013074			6.00620378	0.373	0.611	3.668	13.456	0.176
7HG a USAI	0.023964	25	0.900	2.67291791	0.373	0.611	1.632	2.665	0.064
7HG a Depto PSIQ	0.079527	10	0.900	1.06916717	0.373	0.611	0.653	0.426	0.034
7HG a PLA. TRATA	0.230234	20	0.850	2.2641187	0.373	0.611	1.383	1.912	0.440
6HG a 7HG	0.001634				0.373	0.611	0.000	0.000	0.000
8HG a 6HG	0.024204				0.373	0.611	0.000	0.000	0.000
8HG a 9HI	0.001634				0.373	0.611	0.000	0.000	0.000
12GH a 8HG	0.032359				0.373	0.611	0.000	0.000	0.000
								Total	**17.944**

TABLA 54. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “H” PARA 6000 V. SEMANAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.0179 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por semana: 3.0072 kW/hr/semana.

10. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.373 \times 168 \text{ hrs.} = 62.664 \text{ hrs.}$$

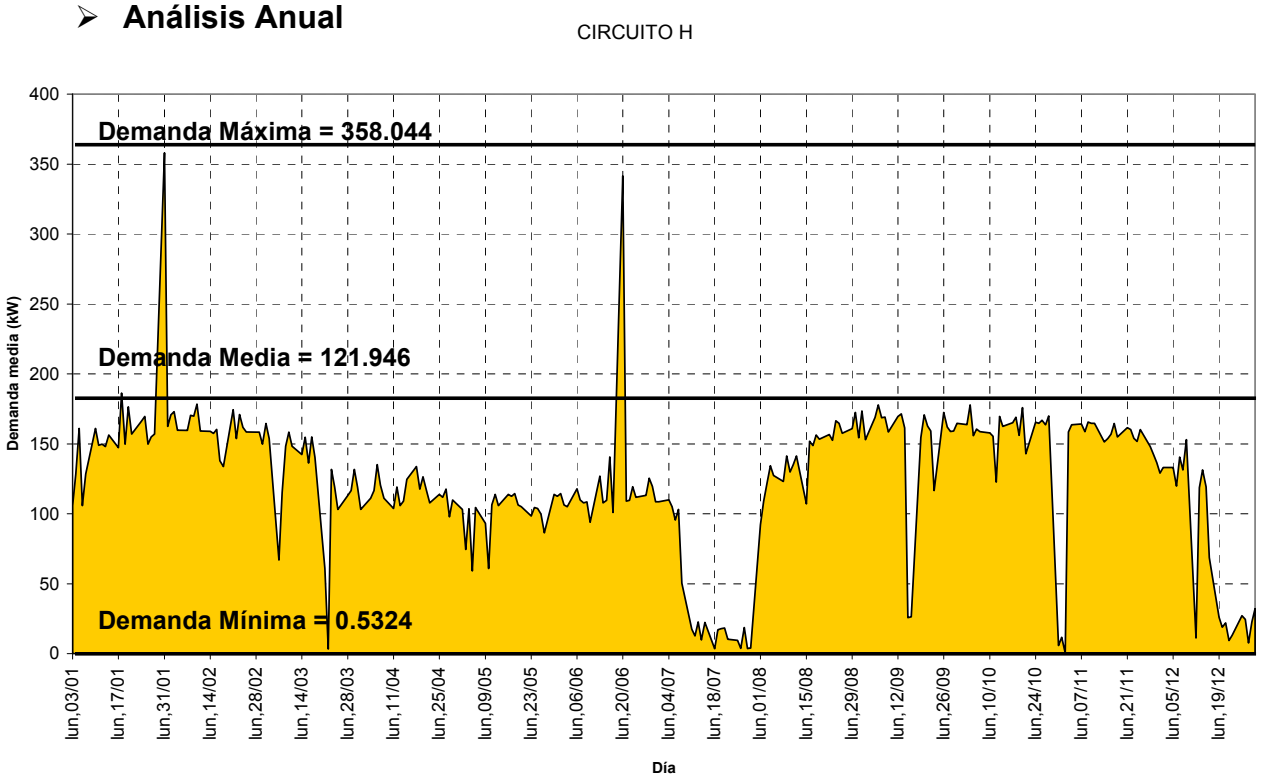
Es decir, las pérdidas totales en una semana equivalen a las pérdidas de 62.664 hrs. de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del análisis semanal.

Se observa que en el análisis de alimentador H, para un periodo de una semana el factor de carga disminuye ya que el análisis se da para un periodo de tiempo mayor y la demanda máxima se ve reducida; en el comportamiento de la curva de demanda semanal se muestra de una manera mas clara el

comportamiento de la carga durante los días de la semana lo que nos da un mejor entendimiento del movimiento de la carga Podemos observar que entre los días Lunes, Martes y Miércoles la demanda es constante, el día Jueves la demanda baja y el día viernes se vuelve a incrementar. El fin de semana como es de esperarse la demanda es mínima ya que no hay muchas actividades. Debido a que el periodo de análisis es mayor se presenta un factor de pérdidas mayor lo que da por resultado mayores pérdidas y un incremento de la energía consumida.

- **Análisis Anual**



GRAFICA 25. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL ALIMENTADOR "H"

Esta gráfica representa el comportamiento de la demanda durante el periodo del año 2005 para el alimentador H. Se observa que la demanda máxima 358.0440 kW se presenta durante la última semana del mes de enero y la demanda mínima se presentó en la tercera semana del mes de julio. Se observan que la curva se divide en dos partes la primera representa el primer semestre de clases del año y la segunda parte el ultimo semestre escolar del año. Se presenta el valor de demanda mínima 0.5324 kW entre estos periodos la cual se debe al inicio de vacaciones intersemestrales donde la carga se debe

a trabajos de mantenimiento, durante este segundo semestre se observa que la demanda se mantiene de forma constante y cae de nuevo al iniciar las vacaciones de fin de año. Las repentinas caídas de demanda que se observan pudieran deberse a días de asueto o puesta en fuera de servicio por actividades de mantenimiento en el alimentador. Los dos picos que se observan en la gráfica pueden deberse a pequeños errores de percepción en la toma de lectura en los medidores de la subestación general No.1.

De la gráfica obtenemos los valores de demanda representativos:

- **Demanda Máxima:** 358.0440 kW
- **Demanda Promedio:** 121.9467 kW
- **Demanda Mínima:** 0.5324 kW

1. **Factor de Carga**

$$FC = \frac{Dprom}{Dmáx} = \frac{121.9467}{358.044} = 0.3406$$

El factor de carga indica que poco más de la mitad del intervalo, se mantiene el pico de la carga, también se puede decir que el sistema tiene una eficiencia del 34.06 %.

2. **Factor de Demanda**

$$FD = \frac{Dmáx}{Capacidad_instalada} = \frac{358.044}{4800} = 0.075$$

El factor de demanda nos indica que el 7.5 % de la potencia instalada en el circuito, está siendo alimentada en el momento de la demanda máxima.

3. **Factor de Utilización**

$$FU = \frac{Dmáx}{Capacidad_Subestación_Gral._1} = \frac{358.044}{7500} = 0.048$$

El factor de utilización nos dice que el 4.8 % de la capacidad de la Subestación General No.1 está siendo utilizado por el circuito H.

4. Demandas Máximas Individuales

Torre de Humanidades	150
Odontoligía 1	236
Odontoligía 2	245
Medicina A1	105
Medicina A2	52
Medicina A3	165
Medicina Ed. By C	109
Medicina Ed. D	254
FM. INV. 2	135
FM. INV. 1	277
USAI	330
Depto. Psiquia	56
Planta trata.	330
TOTAL	**2444**

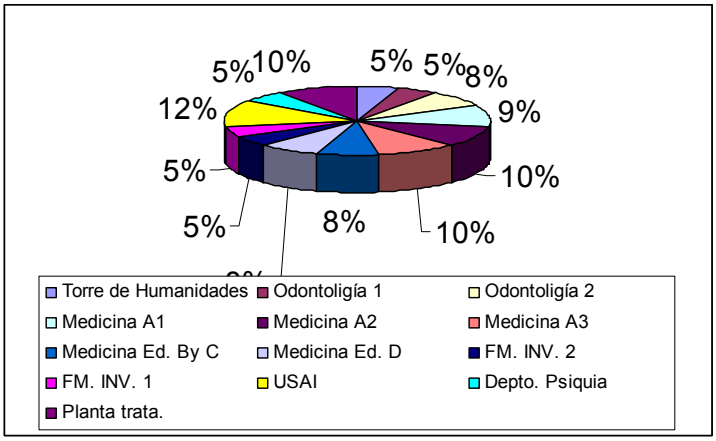


TABLA 55. DEMANDAS MÁXIMAS INDIVIDUALES EN EL ALIMENTADOR "H" ANUAL.

5. La demanda máxima no coincidente será

$$Dmnc = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_Individuales}{n} = \frac{2444}{13} = 188\,\text{kW}.$$

El factor de demanda no coincidente es el promedio de demanda máxima total que puede contribuir cada carga.

6. El factor de coincidencia es

$$FCoincidencia = \frac{Dmáx}{\sum_{i=1}^{n} Dmáx_individuales} = \frac{358.044}{2444} = 0.1465$$

Con este valor podemos decir que el 14.65 % de la demanda individual es coincidente en el momento de la carga máxima del circuito, es un valor considerable.

7. Factor de Pérdidas

$$FPe1= 0.3FC + 0.7FC^2 = 0.1833$$

$$FPe2= 0.4FC + 0.6FC^2 = 0.2058$$

Calculamos el factor de pérdidas con dos fórmulas, donde obtenemos un factor de pérdidas de 0.2058, este valor no es muy alto ya que depende directamente del factor de carga, el cual es bajo debido a que se tiene un periodo de análisis corto.

8. Energía Total Consumida

1068252.216 kW/hr/año.

9. Pérdidas en conductores

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas anual:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Max [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas		Io	Io2	RIo2 [W]
					λ	λ1/2			
1HG a ALIMENT H	0.024			205.836	0.206	0.454	93.423	8727.914	208.255
1HG a TH 1 y FF	0.126	150	0.960	15.035	0.206	0.454	6.824	46.568	5.852
2HG a 1HG	0.106			190.801	0.206	0.454	86.599	7499.432	796.048
2HG a ODONTO 1	0.100	236	0.740	30.688	0.206	0.454	13.928	194.001	19.428
2HG a ODONTO 2	0.062	245	0.800	29.469	0.206	0.454	13.375	178.894	11.065
3HG a 2HG	0.033			130.644	0.206	0.454	59.296	3515.981	116.073
H a MED. ED A3	0.069	105	0.950	10.635	0.206	0.454	4.827	23.301	1.601
H a MED. ED A2	0.039	52	0.950	5.267	0.206	0.454	2.391	5.715	0.224
3HG a H	0.029			114.742	0.206	0.454	52.078	2712.121	79.884
3HG a MED. ED A1	0.093	165	0.950	16.713	0.206	0.454	7.585	57.539	5.363
3HG a 4HG	0.038			98.029	0.206	0.454	44.493	1979.588	74.249
G a FM. INV. 2	0.004	109	0.870	12.056	0.206	0.454	5.472	29.940	0.116
G a FM. INV. 1	0.015	254	0.900	27.157	0.206	0.454	12.326	151.924	2.231
5HG a G	0.004			39.213	0.206	0.454	17.798	316.752	1.224
F a MEDICINA D	0.135	135	0.900	14.434	0.206	0.454	6.551	42.917	5.773
F a MEDICINA BYC	0.015	277	0.890	29.949	0.206	0.454	13.593	184.766	2.721
5HG a F	0.135			44.382	0.206	0.454	20.144	405.779	54.581
4HG a 5HG	0.004			24.919	0.206	0.454	11.310	127.920	0.494
6HG a 4HG	0.013			78.628	0.206	0.454	35.687	1273.561	16.651
7HG a USAI	0.024	330	0.900	35.283	0.206	0.454	16.014	256.440	6.145
7HG a Depto PSIQ	0.080	56	0.900	5.987	0.206	0.454	2.717	7.385	0.587
7HG a PLA. TRATA	0.230	330	0.850	37.358	0.206	0.454	16.956	287.497	66.192
6HG a 7HG	0.002				0.206	0.454	0.000	0.000	0.000
8HG a 6HG	0.024				0.206	0.454	0.000	0.000	0.000
8HG a 9HI	0.002				0.206	0.454	0.000	0.000	0.000
12GH a 8HG	0.032				0.206	0.454	0.000	0.000	0.000
								Total	**1474.758**

TABLA 56. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR “H” PARA 6 kV. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 1.474 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 35.376 Kw/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito al año: 12 912.24 kW/hr/año.

10. Horas equivalentes

$$HE = FPe \times \Delta t = 0.2058 \times 24 \text{ hrs.} = 4.94 \text{ hrs.}$$

Es decir, las pérdidas totales en un día equivalen a las pérdidas de 4.94 hrs. de operación del circuito con demanda máxima.

Conclusiones del análisis anual.

En el análisis anual del circuito se observa que el factor se carga y de pérdidas disminuyen, por estar relacionados con las demandas máximas y promedio que se presentaron en los casos a analizar ,así como, la energía total consumida y las pérdidas por día comparado con los casos diarios y semanales redujeron en el análisis anual.

Al analizar el sistema por un periodo mas grande tenemos que las pérdidas de energía por efecto joule disminuyen, ya que los valores de demanda representan un promedio de cada día de cada mes del año, esto se debe a que posiblemente la elección de los casos a analizar presentan demandas muy elevada pero no es así durante todo el año, este alimentador muestra que durante este periodo de mediciones tuvo que salir de operación en varias ocasiones por lo que las demandas presentadas varían mucho en el análisis del sistema. Se puede concluir que las pérdidas en este alimentador no son demasiado grandes(aún siendo el circuito de mayor longitud), debido a que apenas usa el 4.8 % de la capacidad total de la subestación, a que su capacidad instalada en pequeña comparada con otros alimentadores, también a que en su mayoría la carga es iluminación, equipo de oficina y computo.

V. 4. 5 Anillo V.

Alimentadores. Está formado por los alimentadores I y J.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo V	**5.18**	**16**	**24**	**7375**
Circuito I	2.972	8	13	4287.5
Circuito J	2.208	8	11	3087.5

TABLA 57. ANILLO III DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Punto abierto. Se encuentra abierto en el seccionador 8JI.

V. 4. 5. 1 Alimentador I.

Diagrama unifilar.

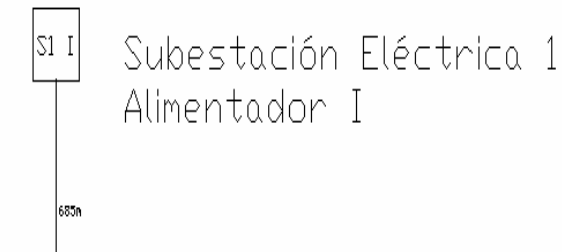


DIAGRAMA 24. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “I”

Plano.



FIGURA 58. PLANO ALIMENTADOR “I”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador I se compone de 8 seccionadores y 13 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1I	**625**
Centro médico 1	400
Centro médico 2	225
2I	**600**
Facultad de Arquitectura 1	300
Facultad de Arquitectura 2	300
3I	**225**
Alberca olímpica	225
4IJ	
5I	**375**
Facultad Química C	225
Pozo 1	150
6I	**662.5**
Instituto de Ingeniería 1	550
Instituto de Ingeniería 2	112.5
7I	**1300**
IIMAS 1	300
IIMAS 2	500
Facultad Química B	500
8I	**500**
Instituto Investigaciones Biomedicas	500
TOTAL	**4287.5**

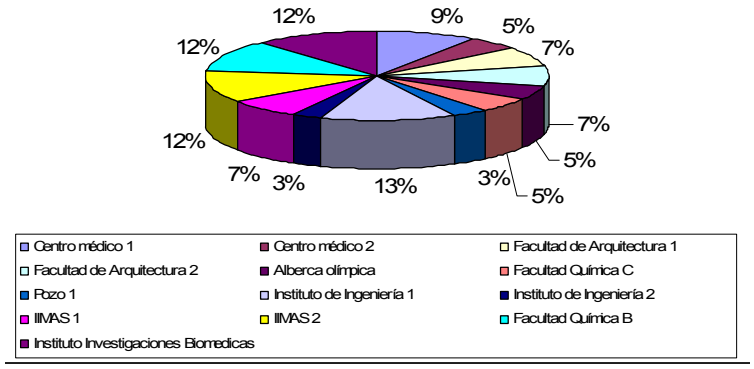


TABLA 58. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "I"

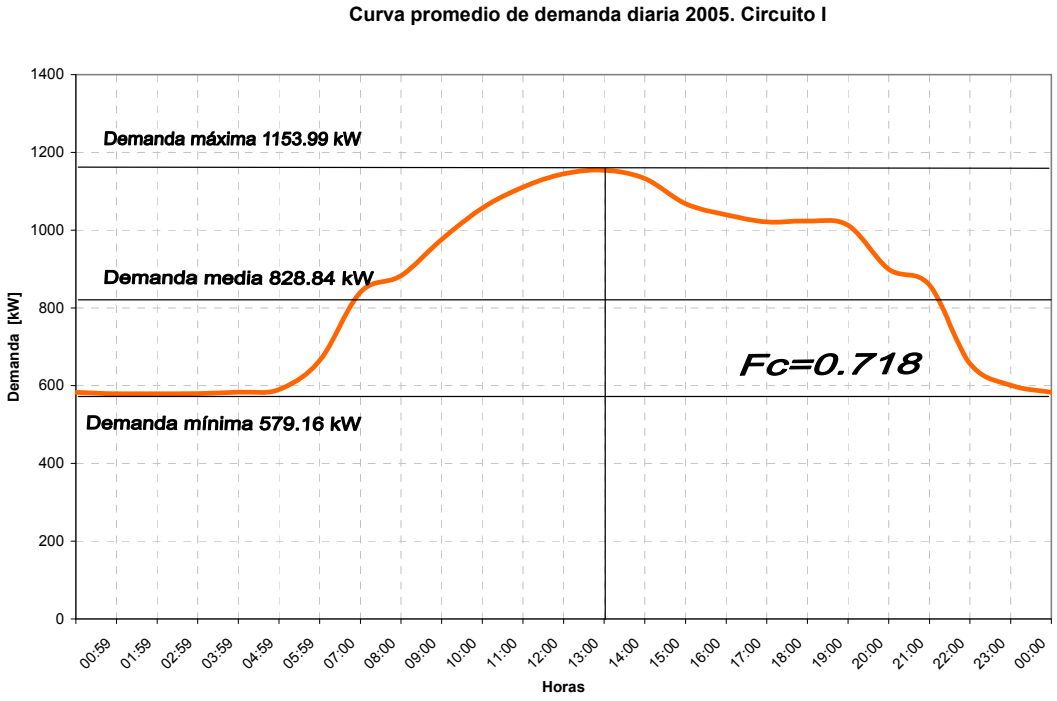
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador I es de 4.287 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG y 1/0 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

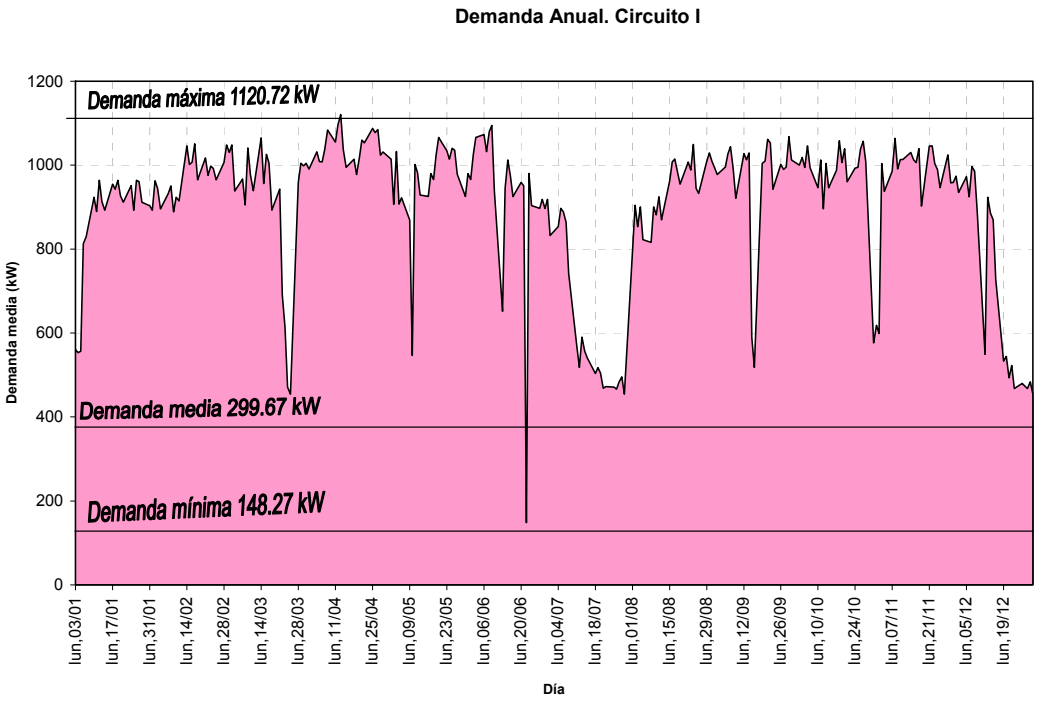
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
SE1 a 1I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.6850	0.1119
1I a Centro Med1.	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.3865	0.1120	0.0433
Centro Med1 a Centro M	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.3865	0.0230	0.0089
1I a 2I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0980	0.0160
2I a Fac. Arquitectura 1	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.1210	0.1188
2I a Fac. Arquitectura 2	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.1070	0.1051
2I a 3I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0860	0.0141
3I a Alberca Olimp.	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.1000	0.0982
3I a 4IJ=8JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.2180	0.0356
4IJ=8JI a 7JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0940	0.0154
4IJ=8JI a 5I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.1640	0.0268
5I a Fac. Quim. Edif. C	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0390	0.0383
Fac. Quim. Edif. C a Po	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0100	0.0098
5I a 6I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0870	0.0142
6I a Inst. de Ing.1	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0700	0.0687
Inst. de Ing.1 a Inst. Ing	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0090	0.0088
6I a 7I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.1430	0.0234
7I a Fac. Quim. Edif B	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.2230	0.2189
7I a IIMAS 1	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.1640	0.1610
IIMAS1 a IIMAS 2	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0150	0.0147
7I a 8I	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0450	0.0074
8I a Inst. de Inv. Biomed	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0840	0.0825
8I a 9HI	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.0960	0.0943

TABLA 59. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR “I”

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 26. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA ANUAL DEL ALIMENTADOR “I”



GRAFICA 27. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL ALIMENTADOR "I"

Pérdidas en conductores.

TRAMO	R [Ω]	Demanda Max. [kW]	cos θ	Imáx. 6000kV	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
SE1 a 1I	0.112			**249.5838**	0.597	0.773	192.8134	37177.0175	4161.9045
1I a Centro Med1.	0.043	100	0.88	10.9347	0.597	0.773	8.4475	71.3597	3.0891
Centro Med1 a Centro Med2.	0.009	135	0.90	14.4338	0.597	0.773	11.1507	124.3371	1.1053
1I a 2I	0.016			**224.2154**	0.597	0.773	173.2153	30003.5434	480.5357
2I a Fac. Arquitectura 1	0.119	200	0.91	21.2652	0.597	0.773	16.4282	269.8863	32.0623
2I a Fac. Arquitectura 2	0.105	95	0.87	10.5073	0.597	0.773	8.1173	65.8911	6.9221
2I a 3I	0.014			**192.4428**	0.597	0.773	148.6698	22102.6969	310.6495
3I a Alberca Olimp.	0.098	140	0.83	16.2112	0.597	0.773	12.5238	156.8455	15.3993
3I a 4IJ=8JI	0.036			**176.2316**	0.597	0.773	136.1460	18535.7224	660.3786
4IJ=8JI a 5I	0.027			**176.2316**	0.597	0.773	136.1460	18535.7224	496.7986
5I a Fac. Quim. Edif. C	0.038	75	0.80	9.0437	0.597	0.773	6.9866	48.8129	1.8691
Fac. Quim. Edif. C a Pozo1	0.010	125	0.71	16.9410	0.597	0.773	13.0876	171.2858	1.6817
5I a 6I	0.014			**150.2469**	0.597	0.773	116.0717	13472.6429	191.5575
6I a Inst. de Ing.1	0.069	45	0.97	4.4640	0.597	0.773	3.4487	11.8932	0.8174
Inst. de Ing.1 a Inst. Ing.2	0.009	115	0.91	12.1603	0.597	0.773	9.3943	88.2533	0.7798
6I a 7I	0.023			**133.6225**	0.597	0.773	103.2287	10656.1719	249.0372
7I a Fac. Quim. Edif B	0.219	266	0.90	28.4398	0.597	0.773	21.9709	482.7212	105.6889
7I a IIMAS 1	0.161	49	0.77	6.1234	0.597	0.773	4.7306	22.3784	3.6033
IIMAS1 a IIMAS 2	0.015	197	0.90	21.0626	0.597	0.773	16.2717	264.7680	3.8993
7I a 8I	0.007			**77.9967**	0.597	0.773	60.2555	3630.7308	26.7014
8I a Inst. de Inv. Biomed.1	0.082	330	0.66	48.4798	0.597	0.773	37.4526	1402.6954	115.6834
8I a 9HI	0.094			**29.5169**	0.597	0.773	22.8030	519.9755	49.0097
9HI a Inst. de Inv. Biomed.2	0.259	250	0.82	29.5169	0.597	0.773	22.8030	519.9755	134.7768
9HI a 8HG	0.001			0.0000					
								Total	**7053.95059**

TABLA 60. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "I" PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 7.053 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 169.272 kW/hr/dia.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 61.784 MW/hr/año

V. 4. 5. 2 Alimentador J.

Diagrama unifilar.

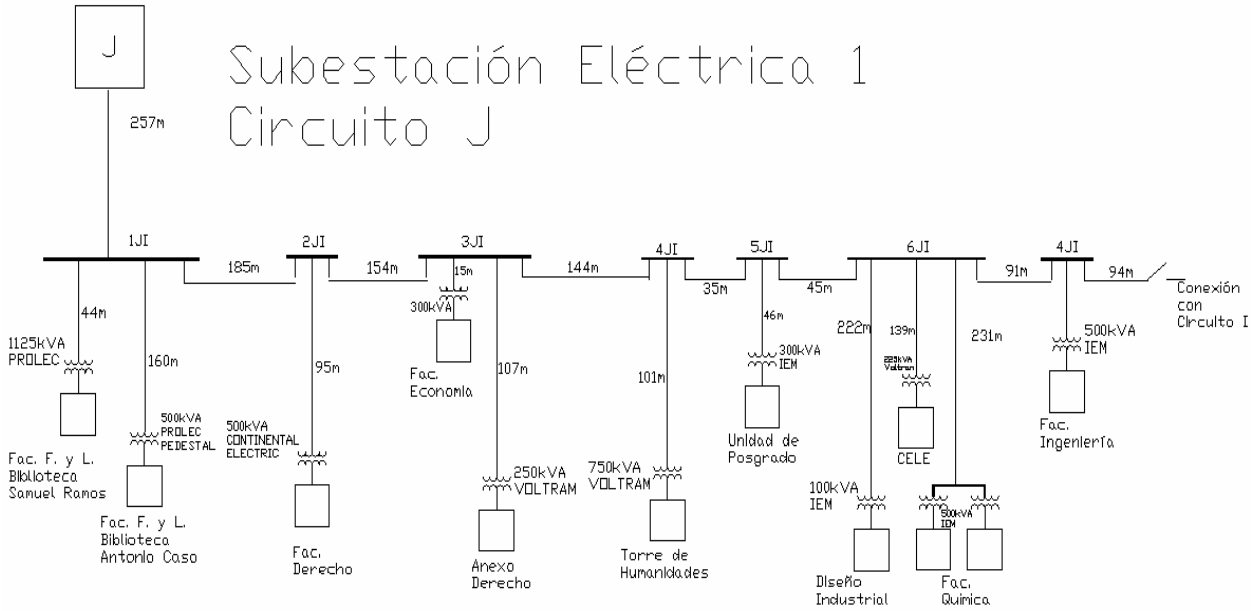


DIAGRAMA 25. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR “J”

Plano.

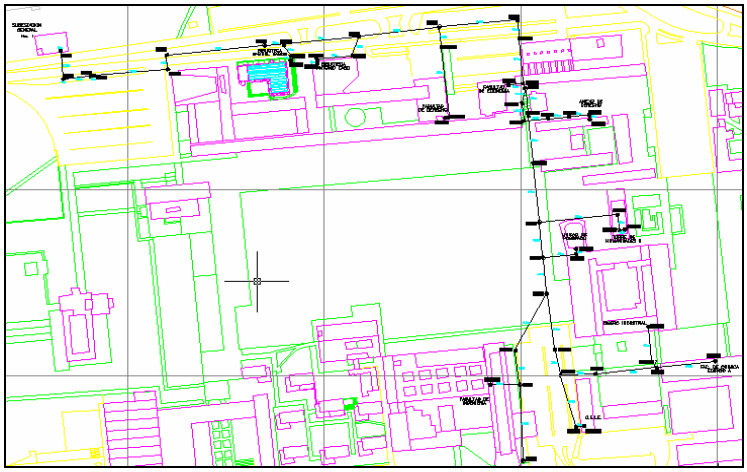


FIGURA 59. PLANO ALIMENTADOR “J”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador I se compone de 8 seccionadores y 11 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1JI	**412.5**
FFL. Biblioteca Samuel Ramos	112.5
FD. Biblioteca Antonio Caso	300
2JI	**500**
Facultad Derecho	500
3JI	**550**
Facultad Economía	300
Anexo Facultad Derecho	250
4JI	
Torre Humanidades 2	750
5JI	**300**
Unidad Posgrado	300
6JI	**825**
Diseño Industrial	100
Facultad Química A	500
CELE	225
7JI	**500**
Facultad Ingeniería	500
8JI	
TOTAL	**3087.5**

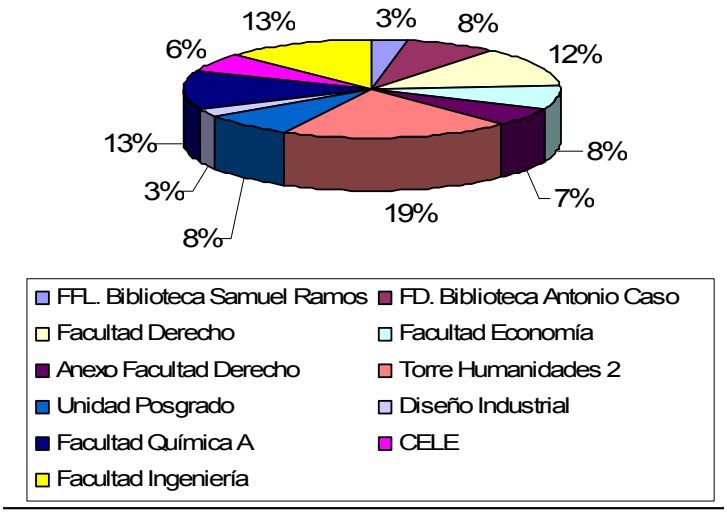


TABLA 61. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "J"

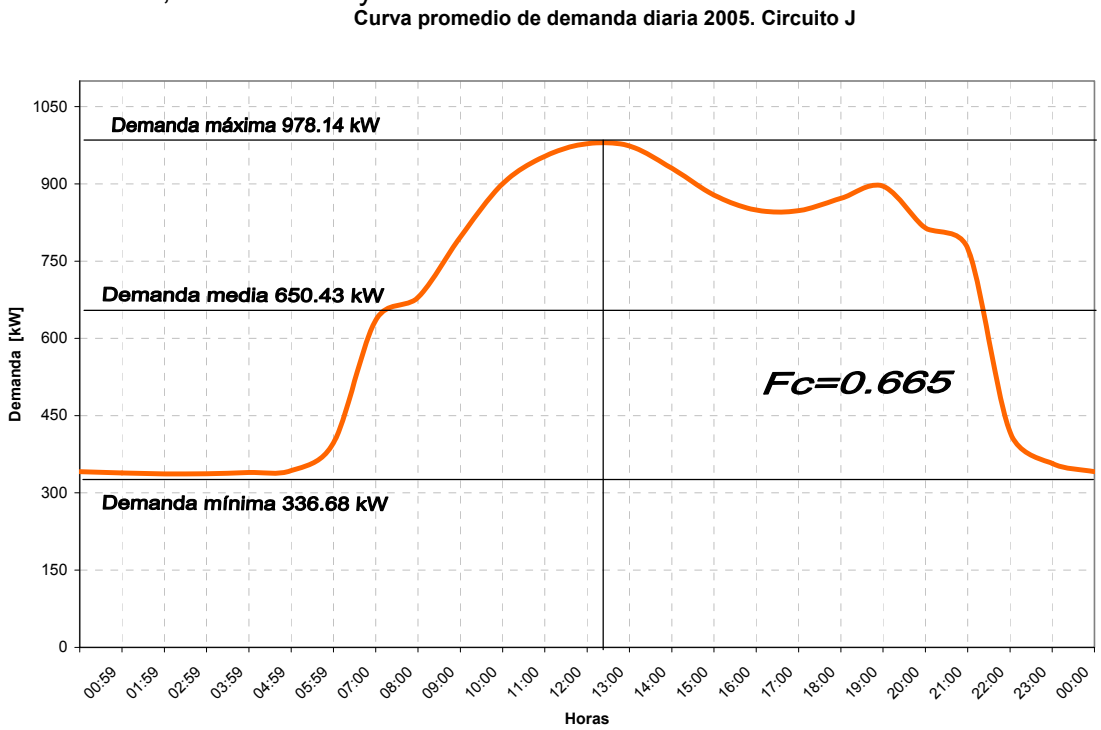
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador I es de 30.87 MVA.

Conductores. Se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG y 1/0 AWG para circuitos derivados.

TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
SE1 a 1JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.26	0.04
1JI a Biblio. Fac. F.yL.	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.05	0.05
1JI a Biblio. Der.	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.16	0.16
1JI a 2JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.19	0.03
2JI a Fac. Derecho	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.10	0.09
2JI a 3JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.15	0.03
3JI a Fac. Economía	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.02	0.01
3JI a Anexo de Derecho	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.11	0.11
3JI a 4JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.14	0.02
4JI a Torre de Humanid	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.10	0.04
4JI a 5JI	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.04	0.03
5JI a Unidad de Posgra	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.05	0.05
5JI a 6JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.05	0.01
6JI a Diseño Industrial	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.22	0.22
6JI a Fac. Quìm. Edif. A	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.23	0.23
6JI a CELE	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.14	0.14
6JI a 7JI	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.09	0.01
7JI a Fac. Ingeniería	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.04	0.04
7JI a 8JI=4IJ	1H - 3Φ - 250kCM	0.16	0.09	0.02

TABLA 62. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR "J"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 28. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA ANUAL DEL ALIMENTADOR "J".

Pérdidas en conductores.

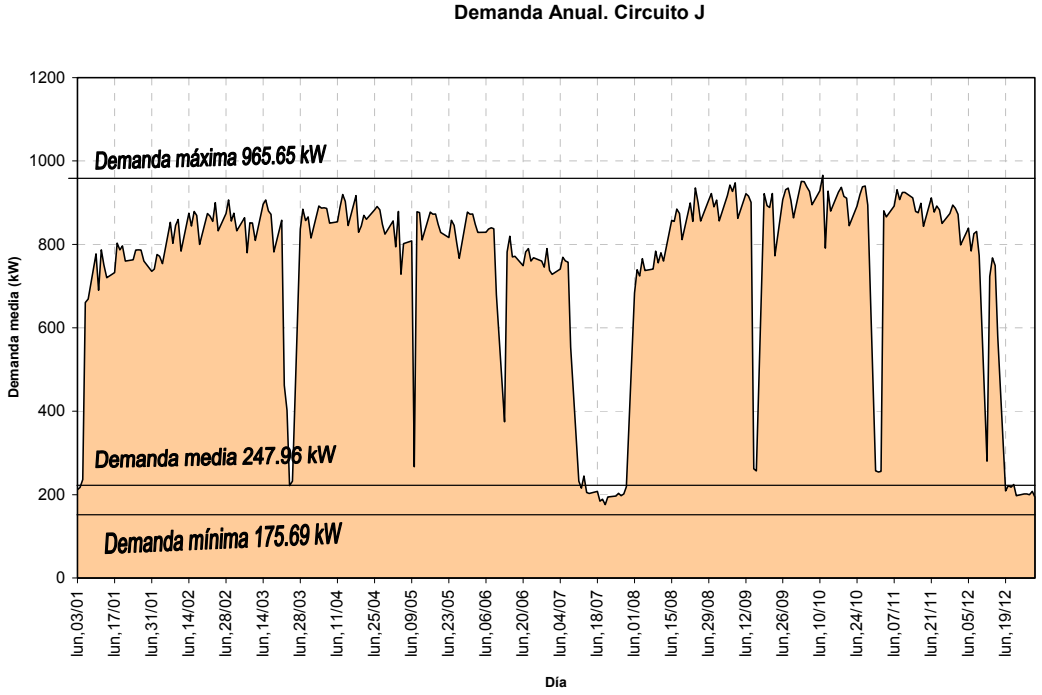
TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
SE1 a 1JI	0.042			**170.96**	0.531	0.73	124.61	15528.83	652.23
1JI a Biblio. Fac. F.yL.	0.048	65.0	0.87	7.19	0.531	0.73	5.24	27.46	1.32
1JI a Biblio. Der.	0.157	220.0	0.90	23.52	0.531	0.73	17.15	293.95	46.18
1JI a 2JI	0.030			**140.25**	0.531	0.73	102.23	10450.86	315.97
2JI a Fac. Derecho	0.093	179.0	0.90	19.14	0.531	0.73	13.95	194.60	18.15
2JI a 3JI	0.025			**121.11**	0.531	0.73	88.28	7793.29	196.14
3JI a Fac. Economía	0.015	110.0	0.87	12.17	0.531	0.73	8.87	78.64	1.16
3JI a Anexo de Derecho	0.105	85.0	0.86	9.51	0.531	0.73	6.93	48.06	5.05
3JI a 4JI	0.024			**99.44**	0.531	0.73	72.48	5253.23	123.63
4JI a Torre de Humanidades	0.039	190.0	0.91	20.09	0.531	0.73	14.64	214.46	8.37
4JI a 5JI	0.034			**79.34**	0.531	0.73	57.83	3344.87	114.94
5JI a Unidad de Posgrado	0.045	85.0	0.90	9.09	0.531	0.73	6.62	43.88	1.98
5JI a 6JI	0.007			**70.26**	0.531	0.73	51.21	2622.53	19.29
6JI a Diseño Industrial	0.218	52.0	0.91	5.50	0.531	0.73	4.01	16.06	3.50
6JI a Fac. Quìm. Edif. A	0.227	285.0	0.78	35.16	0.531	0.73	25.63	656.77	148.96
6JI a CELE	0.136	111.0	0.85	11.42	0.531	0.73	8.33	69.33	9.46
6JI a 7JI	0.015			**18.18**	0.531	0.73	13.25	175.52	2.61
7JI a Fac. Ingeniería	0.037	170.0	0.90	18.18	0.531	0.73	13.25	175.52	6.55
7JI a 8JI=4IJ	0.015			0.00	0.531	0.73	0.00	0.00	0.00
								Total	**1675.48**

TABLA 63. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "J" PARA 6000 V PROMEDIO ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 1.675 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 40.2 Kw/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 14 673 kW/hr/año.



GRAFICA 29. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL ALIMENTADOR "J"

Pérdidas en conductores.

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
SE1 a 1JI	0.042			**181.89**	0.142	0.377	68.61	4707.84	197.73
1JI a Biblio. Fac. F.yL.	0.048	75.0	0.87	8.30	0.142	0.377	3.13	9.79	0.47
1JI a Biblio. Der.	0.157	230.0	0.90	24.59	0.142	0.377	9.28	86.05	13.52
1JI a 2JI	0.030			**149.00**	0.142	0.377	56.21	3159.36	95.52
2JI a Fac. Derecho	0.093	189.0	0.90	20.21	0.142	0.377	7.62	58.11	5.42
2JI a 3JI	0.025			**128.80**	0.142	0.377	48.59	2360.55	59.41
3JI a Fac. Economía	0.015	120.0	0.87	13.27	0.142	0.377	5.01	25.07	0.37
3JI a Anexo de Derecho	0.105	95.0	0.86	10.63	0.142	0.377	4.01	16.08	1.69
3JI a 4JI	0.024			**104.89**	0.142	0.377	39.57	1565.71	36.85
4JI a Torre de Humanidades	0.039	200.0	0.91	21.15	0.142	0.377	7.98	63.64	2.48
4JI a 5JI	0.034			**83.75**	0.142	0.377	31.59	998.01	34.29
5JI a Unidad de Posgrado	0.045	95.0	0.90	10.16	0.142	0.377	3.83	14.68	0.66
5JI a 6JI	0.007			**73.59**	0.142	0.377	27.76	770.60	5.67
6JI a Diseño Industrial	0.218	52.0	0.91	5.50	0.142	0.377	2.07	4.30	0.94
6JI a Fac. Quìm. Edif. A	0.227	295.0	0.78	36.39	0.142	0.377	13.73	188.47	42.74
6JI a CELE	0.136	121.0	0.85	12.45	0.142	0.377	4.70	22.07	3.01
6JI a 7JI	0.015			**19.25**	0.142	0.377	7.26	52.70	0.78
7JI a Fac. Ingeniería	0.037	180.0	0.90	19.25	0.142	0.377	7.26	52.70	1.97
7JI a 8JI=4IJ	0.015			0.00	0.142	0.377	0.00	0.00	0.00
								Total	**503.53**

TABLA 64. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "J" PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.5035 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 12.084 Kw/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 4 410.66 kW/hr/año.

V. 4. 6 Alimentador K.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Alimentador K	**0.455**	**1**	**3**	**1225**

TABLA 65. ALIMENTADOR K DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

Diagrama unifilar.

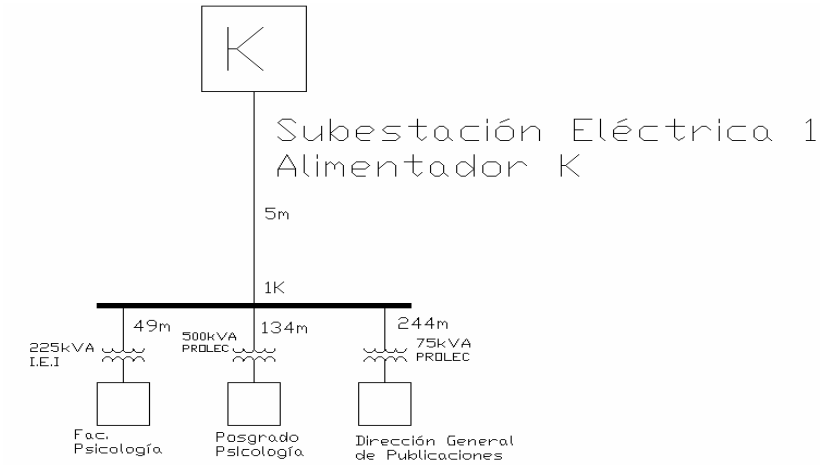


DIAGRAMA 26. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR "K"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El alimentador K se compone de 1 seccionador y 3 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1K	**1225**
Facultad de Psicología	225
Posgrado Psicología	500
Publicaciones	500
TOTAL	**1225**

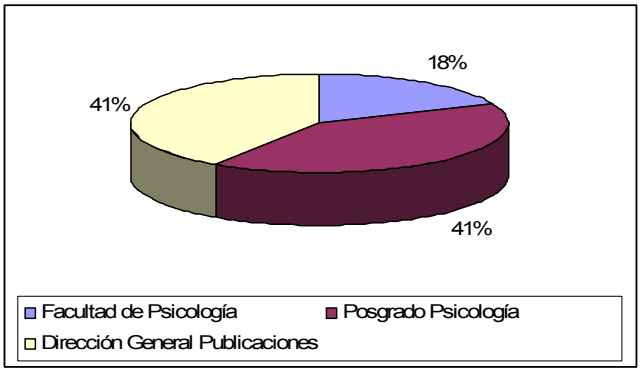


TABLA 66. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA ALIMENTADOR "K"

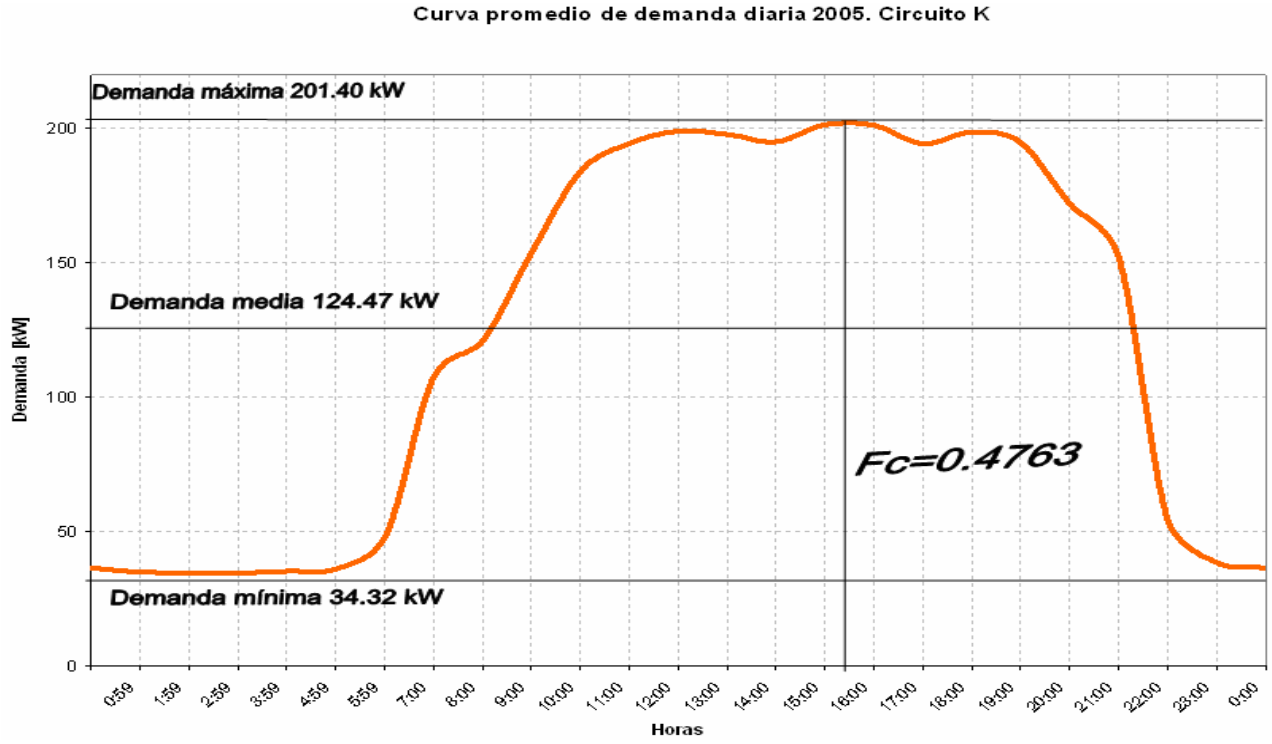
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del alimentador K es de 1.225 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG y 6 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

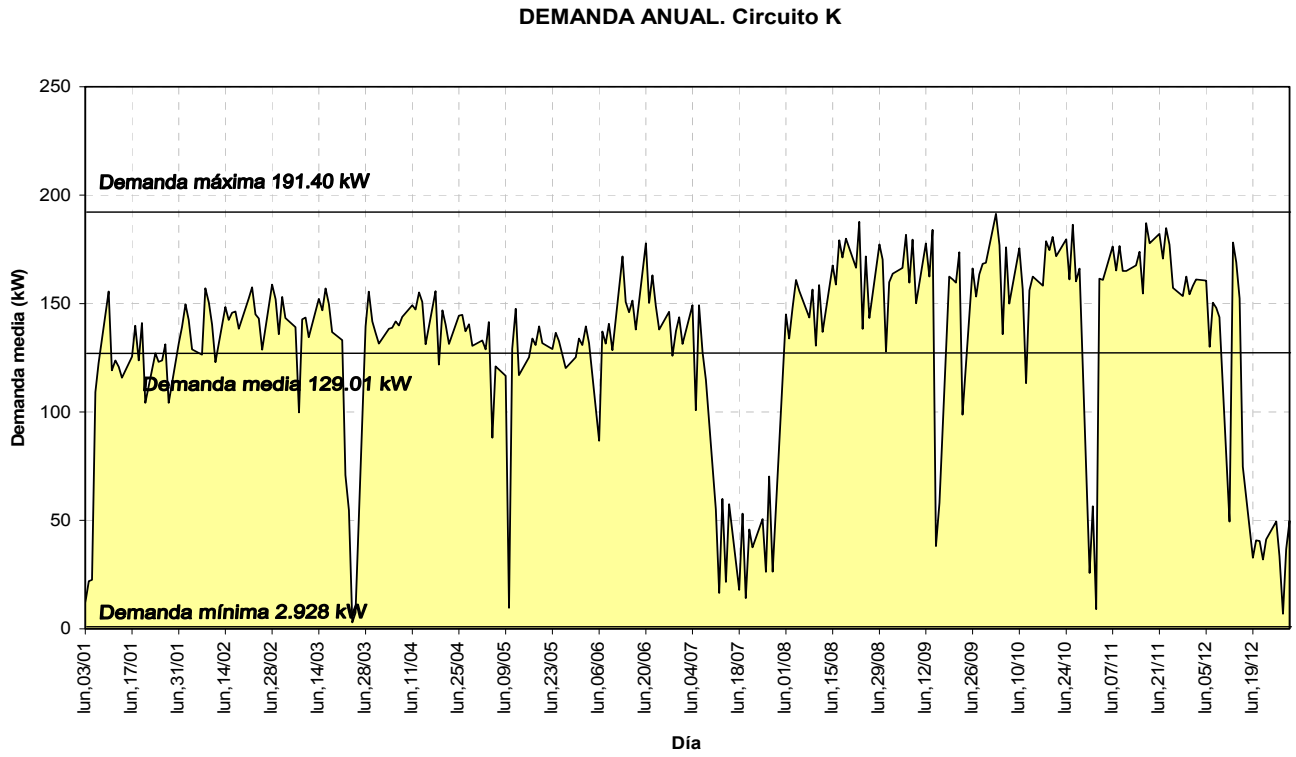
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
SE1 a 1K	1H - 3Φ - 250kCM	0.1634	0.0050	0.0008
1K a Fac. Psicología	1H - 3Φ - 6AWG	1.5535	0.0490	0.0761
lK a Posg. Psicología	1H - 3Φ - 6AWG	1.5535	0.1340	0.2082
1K a D.G. Publicaciones	1H - 3Φ - 4AWG	0.9818	0.2440	0.2396

TABLA 67. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL ALIMENTADOR "K"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 30. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA ANUAL DEL ALIMENTADOR "K"



GRAFICA 31. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL ALIMENTADOR "K"

Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas.

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	Rlo2 [W]
SE1 a 1K	0.001			**32.3336**	0.4764	0.6902	22.3170	498.0471	0.4070
1K a Fac. Psicología	0.076	136.0	*0.90*	14.5407	0.4764	0.6902	10.0361	100.7236	7.6672
IK a Posg. Psicología	0.208	120.0	*0.90*	12.8158	0.4764	0.6902	8.8456	78.2441	16.2880
1K a D.G. Publicaciones	0.240	45.0	*0.87*	4.9772	0.4764	0.6902	3.4353	11.8012	2.8271
		301.0						**Total**	**27.1893**

TABLA 68. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR "K" PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 0.2718 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 0.652 kW/hr/día

Las pérdidas totales en el circuito por año: 237.98 kW/hr/año.

Tablas comparativas sobre el cálculo de factores y análisis de demandas de los distintos alimentadores que componen la Subestación General No. 1.

A manera de resumen, tenemos que los valores comparativos principales de este capítulo son:

ANÁLISIS ANUAL							
SUBESTACIÓN GENERAL NO. 1 CAPACIDAD INSTALADA: 7500 kVA							
Alimentadores	A	F	G	H	I	J	K
Longitud [km]	2.452	4.878	4.784	2.958	2.972	2.208	0.432
No. De Cargas	8	14	13	13	13	11	3
Capacidad Instalada [kVA]	2675	4050	7437.5	4800	4287.5	3087.5	1225
Imax[A]	144.204	211.909	245.321	184.364	249.584	170.960	32.334
Demanda Máxima [kW]	196.210	612.320	857.440	236.988	1153.990	978.140	201.400
Demanda Promedio [kW]	137.440	494.580	643.690	153.043	828.840	650.430	124.470
Demanda Mínima [kW]	104.240	442.740	439.820	81.760	579.160	336.680	34.320
Suma de Demandas Máx. Individuales	1320	1325.1	2894	2204	2122	1552	301
Factor de Carga	0.700	0.808	0.751	0.646	0.718	0.665	0.276
Factor de Demanda	0.073	0.151	0.115	0.049	0.269	0.317	0.102
Factor de Utilización	0.026	0.082	0.114	0.032	0.154	0.130	0.017
Demanda Máx. no coincidente	165.000	94.650	222.615	169.538	163.231	141.091	100.333
Factor de Coincidencia	0.149	0.462	0.296	0.108	0.544	0.630	0.414
Factor de pérdidas1	0.554	0.699	0.620	0.486	0.577	0.509	0.136
Factor de pérdidas2	0.575	0.715	0.638	0.509	0.597	0.531	0.156
Pérdidas [kW-hr/año]	14 480.0274	102 395.64	409 278.628	25 675.56	61 792.607	14 673	237.980

TABLA 69. COMPARATIVA SOBRE EL CÁLCULO DE FACTORES Y ANÁLISIS DE DEMANDAS.

De la tabla resumen podemos observar que los factores que influyen directamente en las pérdidas de los alimentadores son la longitud del circuito, la corriente máxima, el calibre del conductor empleado y el factor de carga.

Se desglosan las siguientes observaciones:

Las mayores pérdidas se encuentran en el circuito G debido a que la corriente máxima es de las más altas junto con el circuito I, pero en contrapeso con este tiene el doble de longitud.

En cuanto al circuito F tenemos que la longitud es mayor, pero la corriente máxima es menor; tomando en cuenta que la diferencia de las corrientes máximas entre estos dos alimentadores no es muy significativa como para propiciar una diferencia en pérdidas de cuatro veces más en G, notamos que los calibres utilizados en el circuito G son en su mayoría menores (es decir, en el circuito F tenemos más troncales, área de sección transversal menor), y por tanto tenemos más pérdidas.
En cuanto a los circuitos A y J, tenemos que las pérdidas, las corrientes máximas y el factor de carga son muy cercanos, sin embargo, la demanda máxima nos sugiere que en el circuito J el pico es mayor. De lo anterior, concluimos que el circuito J es mejor, ya que tiene parámetros similares, pero alimenta mayor carga con unas pérdidas muy similares a las del circuito A.

En cuanto al circuito K tenemos que su longitud es la menor de todas, alimenta el menor número de cargas, sin embargo, su pico de demanda es significativo respecto a la demanda media, por lo tanto su factor de carga es bajo y su factor de coincidencia es alto. De acuerdo a lo anterior, podemos decir que con este comportamiento de carga se tienen menores pérdidas. Con esto concluimos que el mejor circuito es el K.

V. 5 Subestación General No. 2.

Para esta subestación se realizaron los análisis de demanda anual para cada uno de los alimentadores que la conforman.

Años de Operación: 25 años, comenzó su operación en 1981.

Ubicación: Al sur de Ciudad Universitaria, a un costado de la avenida Insurgentes Sur frente a la Escuela nacional de trabajo social.

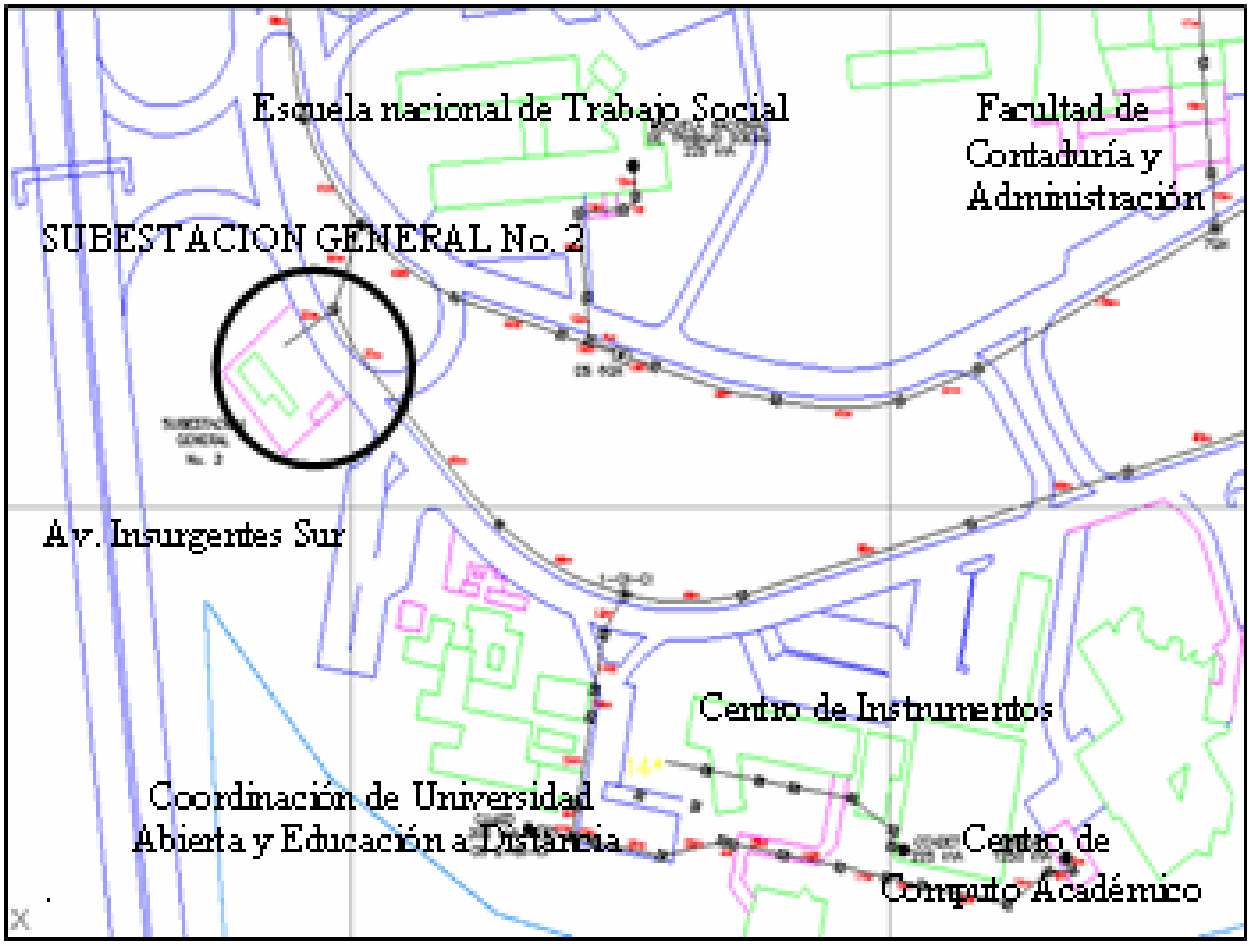


FIGURA 60. UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No.2

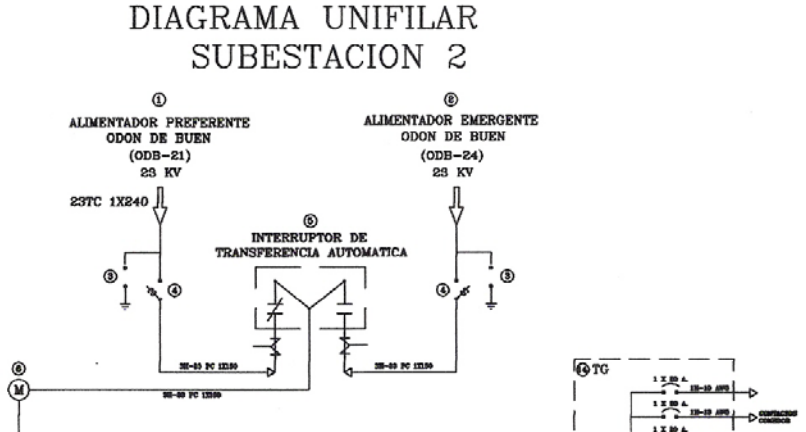


DIAGRAMA 27. DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION GENERAL No. 2

Tiene 5 alimentadores que forman 2 circuitos tipo anillo y 1 alimentador de enlace con la Subestación No. 1. Tiene una longitud de 16.234 km, alimenta a 38 subestaciones derivadas y tiene una capacidad instalada de 24.312 MVA.

Configuración

- **Acometida.**

Se tienen dos alimentadores trifásicos a 23 kV con conductores 3H-23 PC-1X150, marca Condumex, provenientes de la Subestación de Luz y Fuerza del Centro “Odón de Buen y Lozano “, uno preferente y otro emergente, controlados por un interruptor de transferencia automático marca Comanel tipo TACI-DT, de 1 000 A.

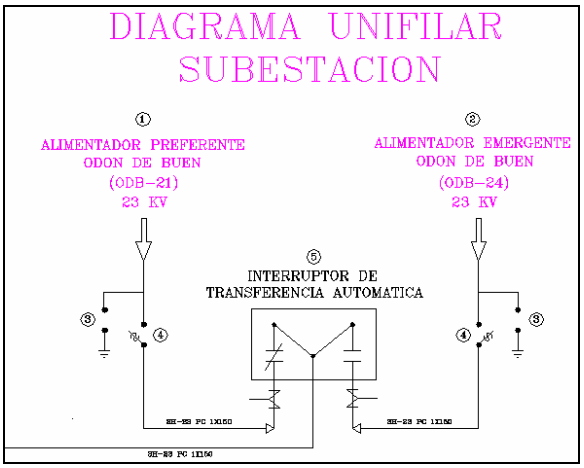


DIAGRAMA 28. ACOMETIDA SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

- **Transformadores:**

  La subestación No. 2 esta integrada por dos transformadores trifásicos marca IEM 23 / 6.6 kV cada con las siguientes características:

  1. Capacidad: 5 000 / 6 250 kVA
  2. Tensión: 23/6.6 kV
  3. Configuración: Delta-Estrella

  La operación consiste en tener uno de los dos transformadores conectado, mientras el otro está de reserva en caso de falla, cada transformador está conectado la mitad del año.

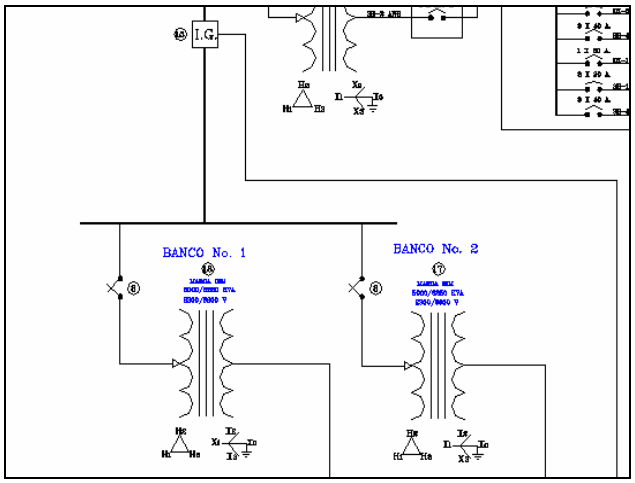


DIAGRAMA 29. TRANSFORMADORES SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

- **Alimentadores Derivados.**

  Se cuenta con 5 Alimentadores derivados a una tensión de 6.6 kV, cada uno controlado por un interruptor electromagnético trifásico de 1200 A, tipo mecánico, marca General Electric, conectados a una barra general con amarre a ambos transformadores.

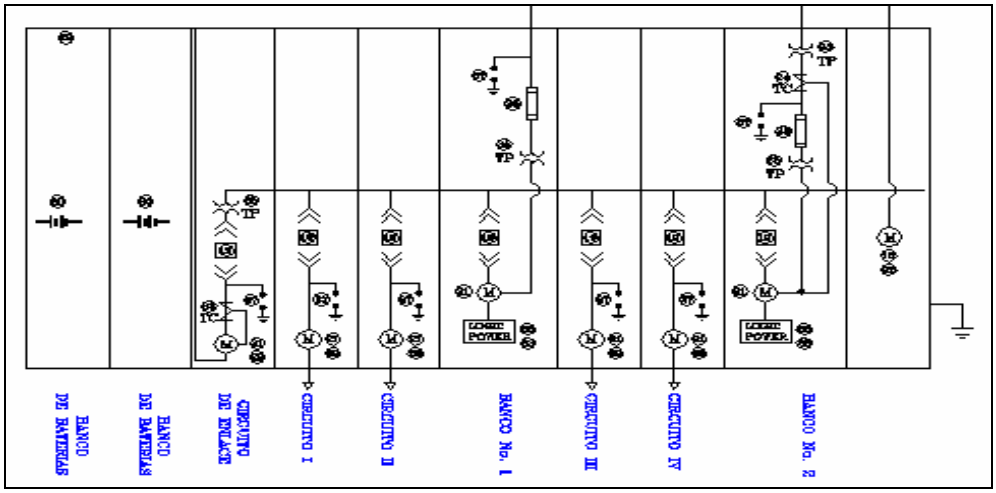


DIAGRAMA 30. ALIMENTADORES DERIVADOS SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

De los cinco alimentadores se forman 2 circuitos de distribución en configuración de anillo, un alimentador radial y un circuito de enlace con la Subestación General No. 1 de Ciudad Universitaria, se nombran a continuación con sus características principales:

Anillo	Longitud [km]	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo I	**8.786**	**22**	**12187**
Circuito I	3.9	5	2362
Circuito II	4.886	17	9825
Anillo II	**7.448**	**19**	**12125**
Circuito III	3.268	10	7500
Circuito IV	4.18	9	4625
TOTAL	16.234	41	24312

TABLA 70. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

V. 5. 1 Anillo I.

Circuitos. Está formado por los circuitos I y II.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo I	**8.786**	**12**	**22**	**12187**
Circuito I	3.9	3	5	2362
Circuito II	4.886	9	17	9825

TABLA 71. ANILLO I DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

Punto abierto. Se encuentra abierto entre el seccionador 9-CII-CI y 8-CII-CI.

V. 5. 1. 1 Circuito I.

Diagrama unifilar.

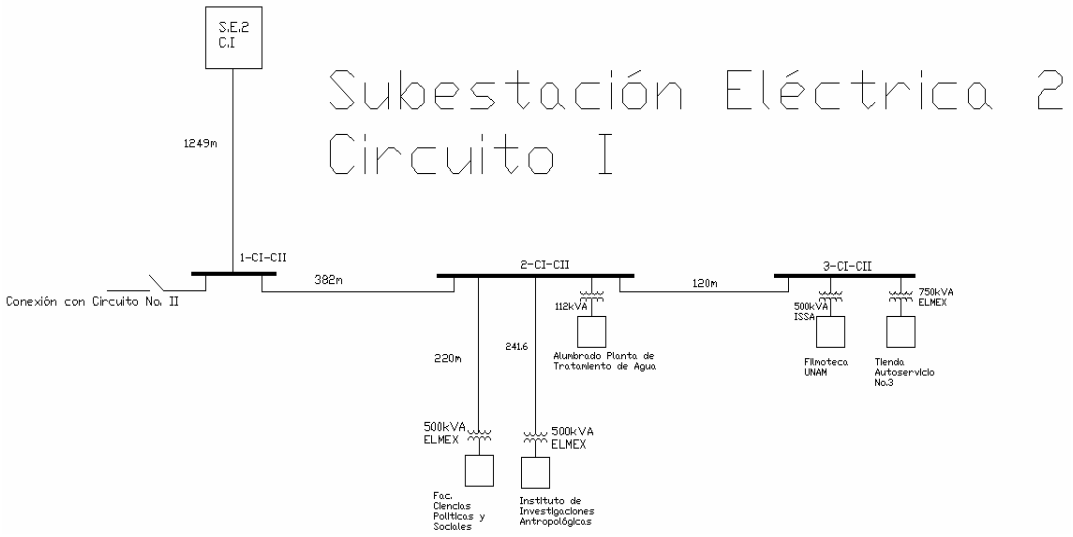


DIAGRAMA 31.DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITO "I"

Plano.

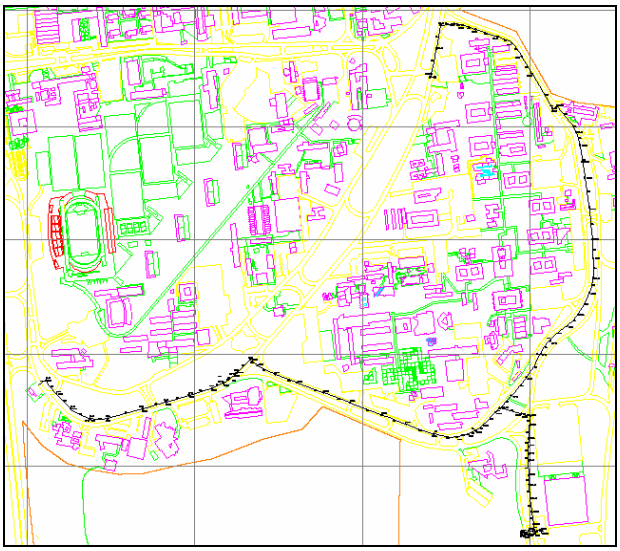


FIGURA 61. PLANO CIRCUITO "I"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El circuito I se compone de 3 Seccionadores y 5 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
1-CI-CII	
Conexión con el circuito II	
2-CI-CII	**1112**
Fac. de Ciencias Politicas	500
Inst. de Invest. Antropologicas	500
Alumbrado Planta de Tratamiento de Agua	112
3-CI-CII	**1250**
Filmoteca UNAM	500
Tienda de Autoservicio	750
TOTAL	**2362**

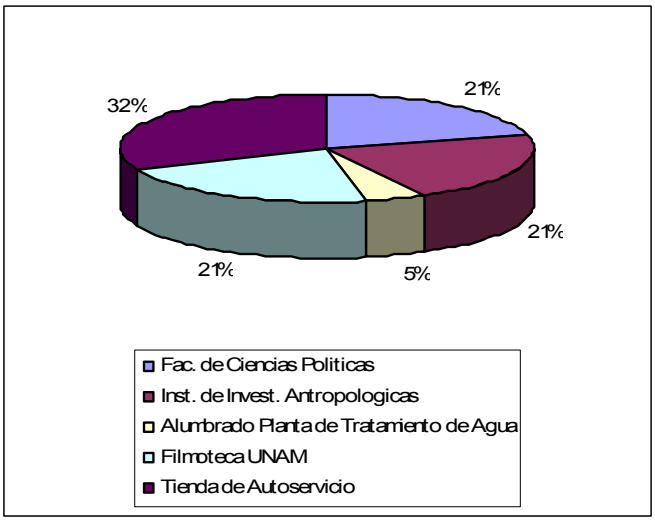


TABLA 72. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA CIRCUITO "I"

De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del Circuito 1 es de 2.362 MVA.

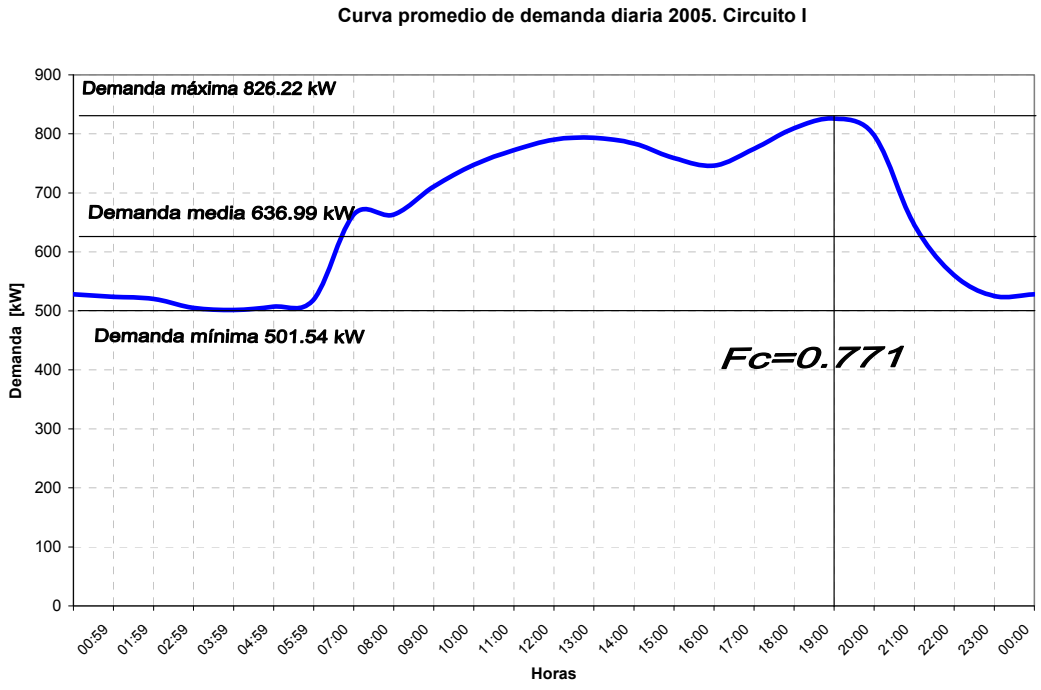
Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 350kCM para el

circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

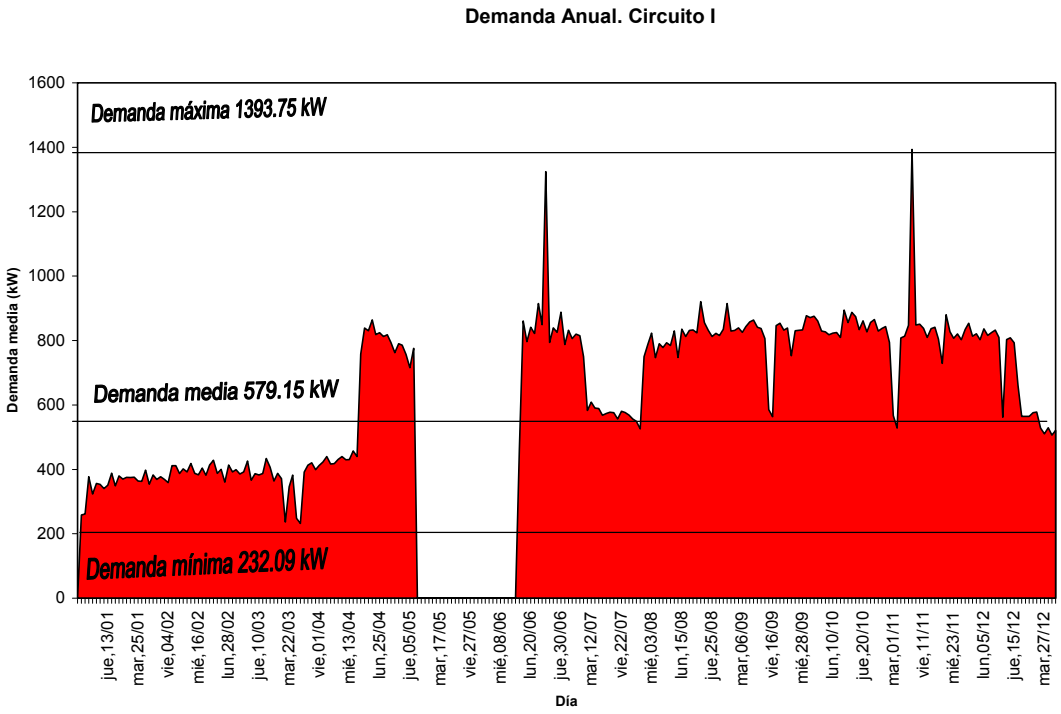
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
Subestación 2 a 1-CI-CII	3H - 1Φ - 350kCM	0.12	1.25	0.15
1-CI-CII a 9-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.12	0.96	0.11
1-CI-CII a 2-CI-CII	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.39	0.38	0.15
2-CI-CII a Fac. C P Y S	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.39	0.22	0.09
2-CI-CII a Instituto I A	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.39	0.24	0.09
2-CI-CII a Planta de Agua	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.39	0.01	0.00
2-CI-CII a 3-CI-CII	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.39	0.12	0.05
3-CI-CII a Filmoteca	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.20	0.08
3-CI-CII a Tienda UNAM	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.52	0.20

TABLA 73. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL CIRCUITO "I"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 32. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL CIRCUITO "I"



GRAFICA 33. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL CIRCUITO "I"

Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máxima [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas		Io	Io2	RIo2 [W]
					λ	λ1/2			
Subestación 2 a 1-CI-CII	0.147			105.78	0.65	0.80	85.11	7243.33	1068.13
1-CI-CII a 9-CII-CI	0.114			0.00	0.65	0.80	0.00	0.00	0.00
1-CI-CII a 2-CI-CII	0.148			105.78	0.65	0.80	85.11	7243.33	1069.46
2-CI-CII a Fac. C P Y S	0.085	232.0	0.98	22.69	0.65	0.80	18.25	333.20	28.33
2-CI-CII a Instituto I A	0.093	61.0	0.58	10.12	0.65	0.80	8.14	66.30	6.19
2-CI-CII a Planta de Agua	0.004	67.5	0.90	7.22	0.65	0.80	5.81	33.72	0.13
2-CI-CII a 3-CI-CII	0.046			65.75	0.65	0.80	52.90	2798.91	129.82
3-CI-CII a Filmoteca	0.077	220.0	0.90	23.52	0.65	0.80	18.93	358.17	27.69
3-CI-CII a Tienda UNAM	0.201	395.0	0.90	42.23	0.65	0.80	33.98	1154.60	232.06
								Total	**2561.81**

TABLA 74. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL CIRCUITO "I" PARA 6 kV. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 2.561 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito en un día: 61.464 kW/hr/dia.

Las pérdidas totales en el circuito en un año: 22.434 MW/hr/año.

V. 5. 1. 2 Circuito II.

Diagrama unifilar.

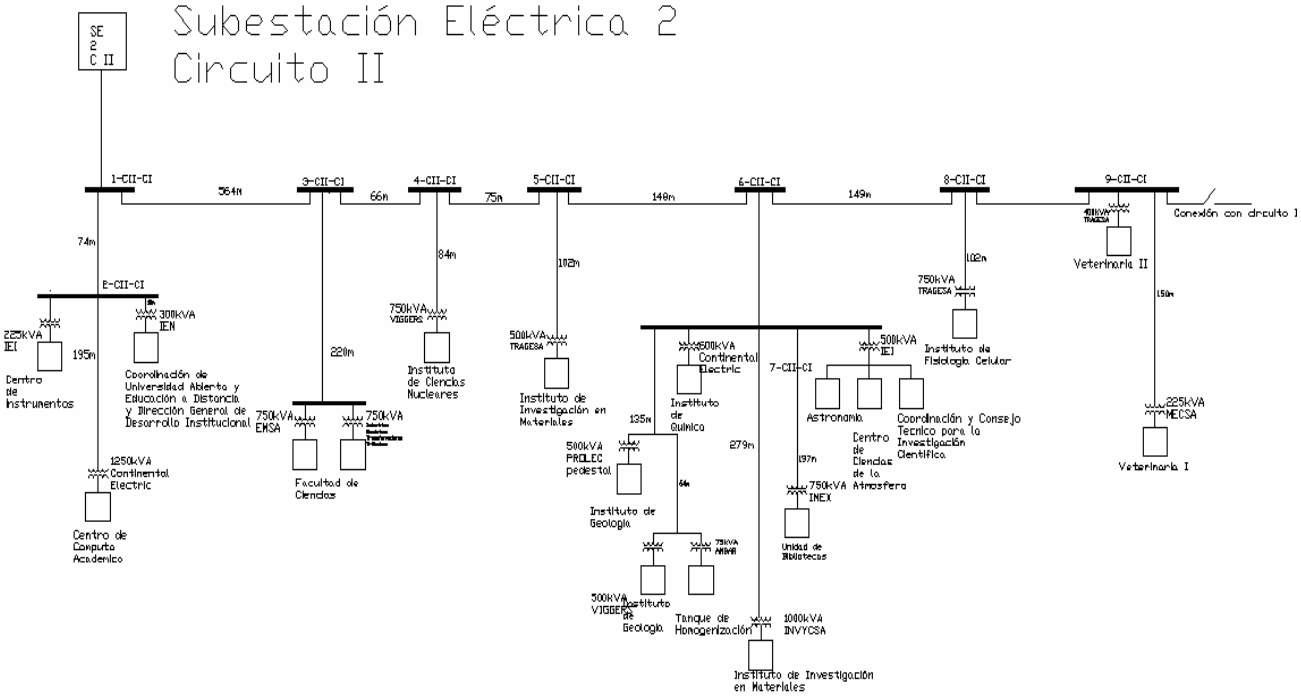


DIAGRAMA 32. DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITO “II”

Plano.

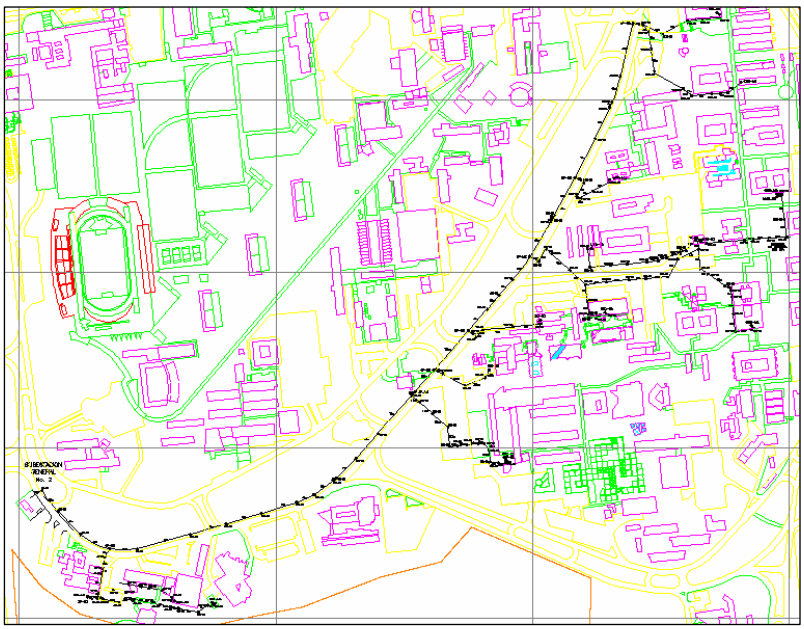


FIGURA 62. PLANO CIRCUITO “II”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El circuito II se compone de 9 Seccionadores y 17 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
I-CII-CI	
2-CII-CI	**1775**
CUAED	300
CCADET	225
DGSCA	1250
3-CII-CI	**1500**
Ciencias II	750
Ciencias I	750
4-CII-CI	**750**
C. Nucleares	750
5-CII-CI	**500**
Inst. Invest. Materiales	500
6-CII-CI	
7-CII-CI	**3925**
GEOS	500
CICH	750
Inv. Materiales	1000
Ins. Química A	600
Ins. Geología	500
Tanque H	75
Ins. Geografía	500
8-CII-CI	**750**
Fisiología Celular	750
9-CII-CI	**625**
Fac. Veterinaria I	400
Fac. Veterinaria II	225
TOTAL	**9825**

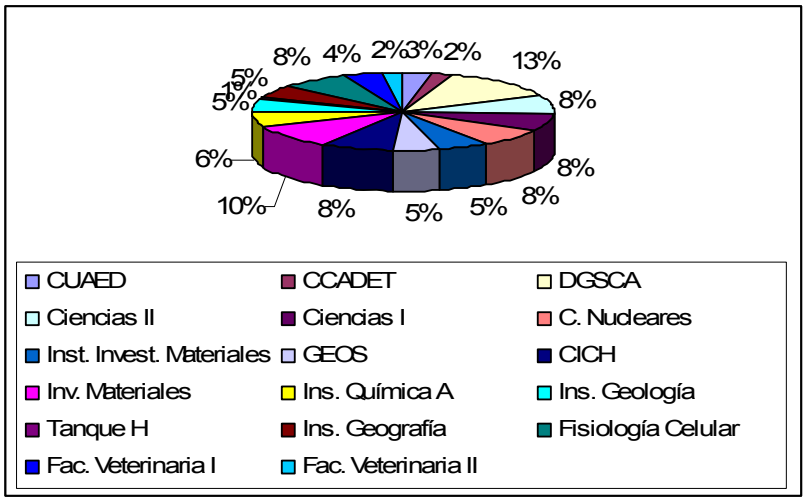


TABLA 75. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA CIRCUITO "II"

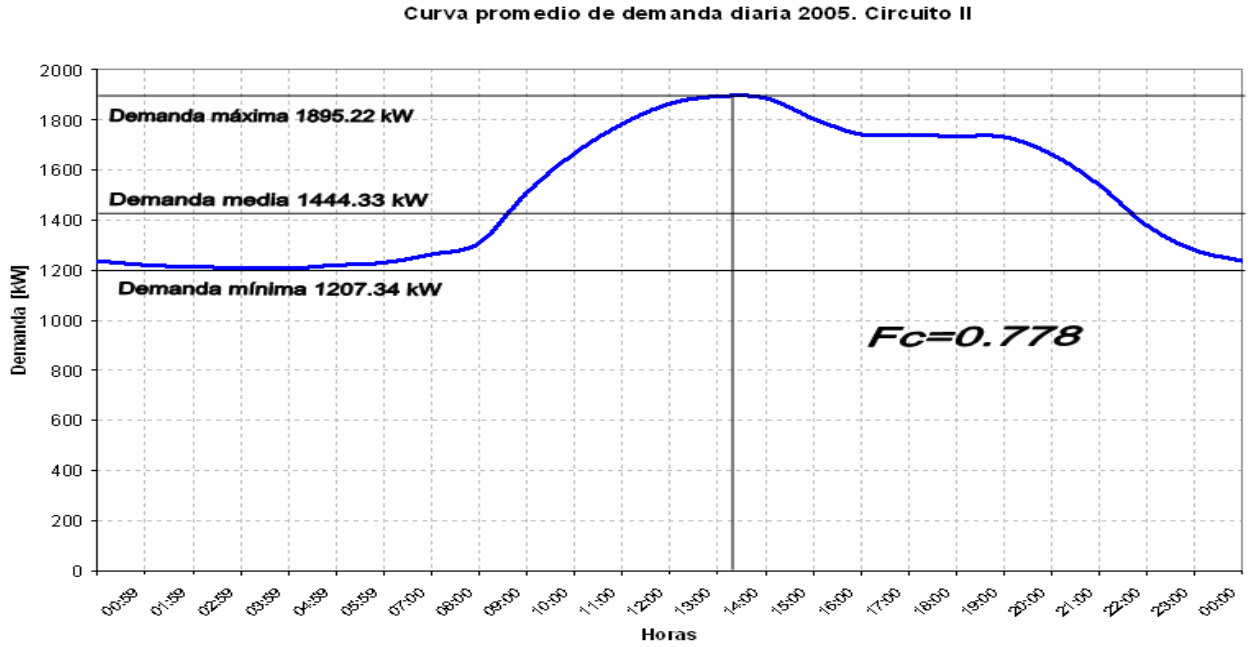
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del Circuito I es de 9.825 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 250kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[Ω/km]	L [km]	R [Ω]
Sub. 2 a 1-CII-CI	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.160	0.157
1-CII-CI a 2-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.074	0.009
2-CII-CI a Univ. Abierta	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.010	0.010
2-CII-CI a DGSCA	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.195	0.191
2-CII-CI a C. Instrumentos	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.152	0.149
3-CII-CI a 1-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.564	0.067
Q a 3-CII-CI	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.050	0.049
Q a Ciencias II	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.060	0.059
Q a Ciencias I	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.220	0.216
4-CII-CI a 3-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.660	0.078
4-CII-CI a C. Nucleares	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.084	0.032
5-CII-CI a 4-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.075	0.009
5-CII-CI a Inv. Mat.	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.102	0.100
6-CII-CI a 5-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.148	0.017
7-CII-CI a 6-CII-CI	1H - 3Φ - 3/0AWG	0.244	0.320	0.078
7-CII-CI a GEOS	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.100	0.098
7-CII-CI a CICH	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.197	0.193
7-CII-CI a Inv. Materiales	1H - 3Φ - 1/0AWG	0.387	0.279	0.108
7-CII-CI a Ins. Química A	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.227	0.223
7-CII-CI a Ins. Geología	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.135	0.052
7-CII-CI a P	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.100	0.039
P a Tanque H	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.010	0.004
P a Ins. Geografía	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.387	0.064	0.025
8-CII-CI a 6-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.149	0.018
8-CII-CI a Fisiología	1H - 3Φ - 2AWG	0.613	0.102	0.063
9-CII-CI a 8-CII-CI	3H - 1Φ - 350kCM	0.118	0.255	0.030
9-CII-CI a Fac. Veterinaria II	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.150	0.147
9-CII-CI a Fac. Veterinaria I	1H - 3Φ - 4AWG	0.982	0.244	0.240

TABLA 76. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL CIRCUITO "II"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 34. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL CIRCUITO "II"

Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas anual:

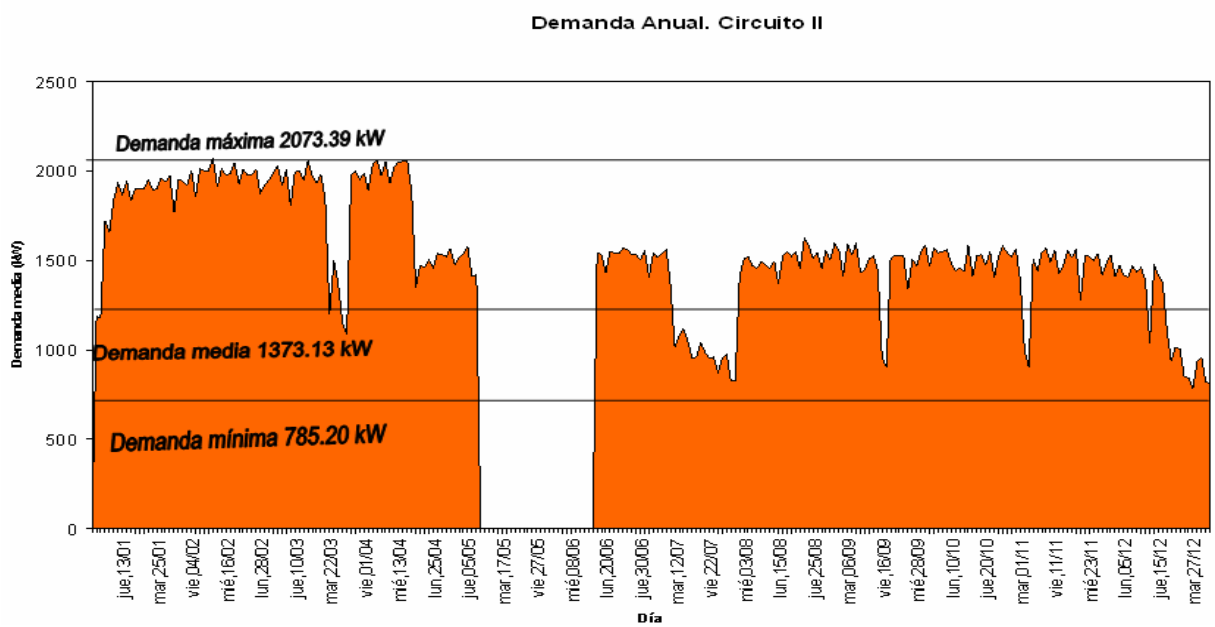
TRAMO	R [Ω]	Demanda Máxima [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
Sub. 2 a 1-CII-CI	0.157			386.502	0.653	0.808	312.422	97607.465	15333.149
1-CII-CI a 2-CII-CI	0.009			71.608	0.653	0.808	57.883	3350.398	29.272
2-CII-CI a Univ. Abierta	0.010	94.0	0.87	10.397	0.653	0.808	8.404	70.627	0.693
2-CII-CI a DGSCA	0.191	390.0	0.87	43.135	0.653	0.808	34.868	1215.755	232.760
2-CII-CI a C. Instrumentos	0.149	170.0	0.905	18.075	0.653	0.808	14.611	213.479	31.859
3-CII-CI a 1-CII-CI	0.067			314.895	0.653	0.808	254.539	64790.263	4314.333
Q a 3-CII-CI	0.049			58.632	0.653	0.808	47.394	2246.197	110.267
Q a Ciencias II	0.059	271.0	0.831	31.380	0.653	0.808	25.366	643.416	37.903
Q a Ciencias I	0.216	226.0	0.798	27.252	0.653	0.808	22.028	485.251	104.814
4-CII-CI a 3-CII-CI	0.078			256.263	0.653	0.808	207.145	42909.156	3343.634
4-CII-CI a C. Nucleares	0.032	115.0	0.92	12.028	0.653	0.808	9.723	94.531	3.069
5-CII-CI a 4-CII-CI	0.009			244.235	0.653	0.808	197.423	38975.657	345.127
5-CII-CI a Inv. Mat.	0.100	180.0	0.71	24.395	0.653	0.808	19.719	388.851	38.941
6-CII-CI a 5-CII-CI	0.017			219.840	0.653	0.808	177.703	31578.434	551.794
7-CII-CI a 6-CII-CI	0.078			219.840	0.653	0.808	177.703	31578.434	2461.489
7-CII-CI a GEOS	0.098	150.0	0.97	14.880	0.653	0.808	12.028	144.675	14.204
7-CII-CI a CICH	0.193	380.0	0.91	40.182	0.653	0.808	32.480	1054.969	204.049
7-CII-CI a Inv. Materiales	0.108	272.0	0.77	33.991	0.653	0.808	27.476	754.939	81.410
7-CII-CI a Ins. Química A	0.223	200.0	0.9	21.383	0.653	0.808	17.285	298.765	66.586
7-CII-CI a Ins. Geología	0.052	156.0	0.89	16.866	0.653	0.808	13.634	185.877	9.699
7-CII-CI a P	0.039			11.034	0.653	0.808	8.919	79.546	3.075
P a Tanque H	0.004	65.0	0.9	6.950	0.653	0.808	5.618	31.557	0.122
P a Ins. Geografía	0.025	27.8	0.655	4.084	0.653	0.808	3.301	10.898	0.270
8-CII-CI a 6-CII-CI	0.018			81.503	0.653	0.808	65.881	4340.352	76.355
8-CII-CI a Fisiología	0.063	325.0	0.815	38.372	0.653	0.808	31.017	962.070	60.186
9-CII-CI a 8-CII-CI	0.030			43.131	0.653	0.808	34.864	1215.504	36.595
9-CII-CI a Fac. Veterinaria II	0.147	279.0	0.95	28.260	0.653	0.808	22.843	521.815	76.849
9-CII-CI a Fac. Veterinaria I	0.240	136.0	0.88	14.871	0.653	0.808	12.021	144.500	34.617
								Total	27603.121

TABLA 77. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL CIRCUITO “II” PARA 6000 V. ANUAL PROMEDIO.

Las pérdidas totales en el circuito: 27.603 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 662.475 Kw/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 241 803.34 kW/hr/año.



GRAFICA 35. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL CIRCUITO "II"

Pérdidas en conductores.

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máxima [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
Sub. 2 a 1-CII-CI	0.157			**403.635**	0.528	0.727	293.351	86054.903	13518.358
1-CII-CI a 2-CII-CI	0.009			**74.883**	0.528	0.727	54.423	2961.850	25.877
2-CII-CI a Univ. Abierta	0.010	104.0	0.87	11.503	0.528	0.727	8.360	69.888	0.686
2-CII-CI a DGSCA	0.191	400.0	0.87	44.241	0.528	0.727	32.153	1033.847	197.933
2-CII-CI a C. Instrumentos	0.149	180.0	0.905	19.139	0.528	0.727	13.909	193.474	28.873
3-CII-CI a 1-CII-CI	0.067			**328.752**	0.528	0.727	238.928	57086.721	3801.360
Q a 3-CII-CI	0.049			**60.996**	0.528	0.727	44.330	1965.157	96.471
Q a Ciencias II	0.059	281.0	0.831	32.538	0.528	0.727	23.648	559.223	32.943
Q a Ciencias I	0.216	236.0	0.798	28.458	0.528	0.727	20.682	427.753	92.394
4-CII-CI a 3-CII-CI	0.078			**267.756**	0.528	0.727	194.598	37868.455	2950.845
4-CII-CI a C. Nucleares	0.032	125.0	0.92	13.074	0.528	0.727	9.502	90.286	2.931
5-CII-CI a 4-CII-CI	0.009			**254.682**	0.528	0.727	185.096	34260.644	303.376
5-CII-CI a Inv. Mat.	0.100	190.0	0.71	25.750	0.528	0.727	18.715	350.240	35.075
6-CII-CI a 5-CII-CI	0.017			**228.932**	0.528	0.727	166.382	27682.844	483.724
7-CII-CI a 6-CII-CI	0.078			**228.932**	0.528	0.727	166.382	27682.844	2157.834
7-CII-CI a GEOS	0.098	138.0	0.97	13.690	0.528	0.727	9.949	98.990	9.719
7-CII-CI a CICH	0.193	390.0	0.91	41.239	0.528	0.727	29.972	898.299	173.746
7-CII-CI a Inv. Materiales	0.108	282.0	0.77	35.241	0.528	0.727	25.612	655.981	70.739
7-CII-CI a Ins. Química A	0.223	210.0	0.9	22.453	0.528	0.727	16.318	266.274	59.345
7-CII-CI a Ins. Geología	0.052	166.0	0.89	17.948	0.528	0.727	13.044	170.142	8.878
7-CII-CI a P	0.039			**13.572**	0.528	0.727	9.864	97.292	3.760
P a Tanque H	0.004	75.0	0.9	8.019	0.528	0.727	5.828	33.963	0.131
P a Ins. Geografía	0.025	37.8	0.655	5.553	0.528	0.727	4.036	16.288	0.403
8-CII-CI a 6-CII-CI	0.018			**84.790**	0.528	0.727	61.623	3797.403	66.803
8-CII-CI a Fisiología	0.063	335.0	0.815	39.553	0.528	0.727	28.746	826.321	51.694
9-CII-CI a 8-CII-CI	0.030			**45.237**	0.528	0.727	32.877	1080.915	32.543
9-CII-CI a Fac. Veterinaria II	0.147	289.0	0.95	29.273	0.528	0.727	21.275	452.609	66.657
9-CII-CI a Fac. Veterinaria I	0.240	146.0	0.88	15.965	0.528	0.727	11.603	134.622	32.250
								Total	**24305.349**

TABLA 78. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL CIRCUITO "II" PARA 6000 V. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 24.305 Kw/hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 583.32 Kw/hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito: 212914.857 kW/hr/año.

V. 5. 2 Anillo II.

Circuitos. El anillo II está formado por los circuitos III y IV.

Anillo	Longitud [km]	Seccionadores	Subestaciones	Capacidad Total Instalada [kVA]
Anillo II	**7.448**	**11**	**19**	**12125**
Circuito III	3.268	6	10	7500
Circuito IV	4.18	5	9	4625

TABLA 79. ANILLO II DE LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

Punto abierto. Se encuentra abierto entre el seccionador 6-CIII-CIV y 5-CIV-CIII.

V. 5. 2. 1 Circuito III.

Diagrama unifilar.

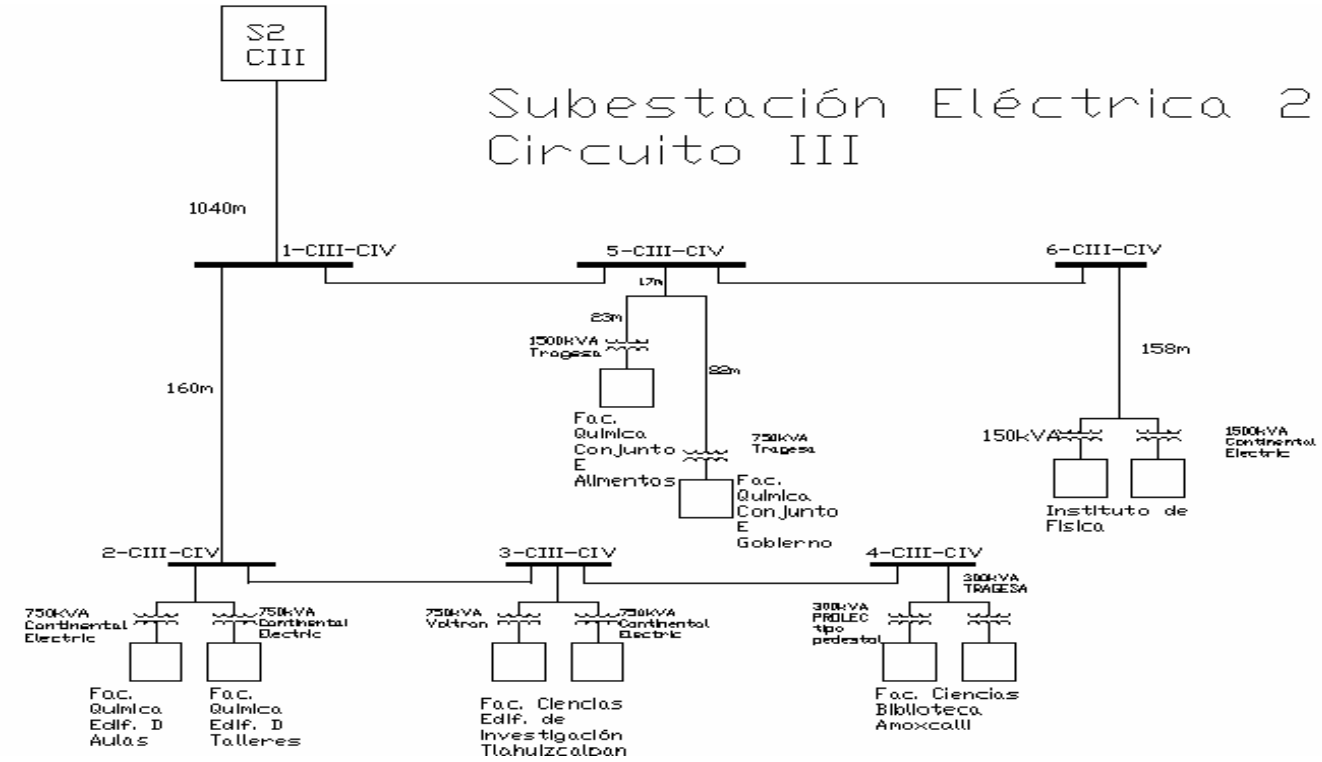


DIAGRAMA 33. DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITO "III".

Plano.

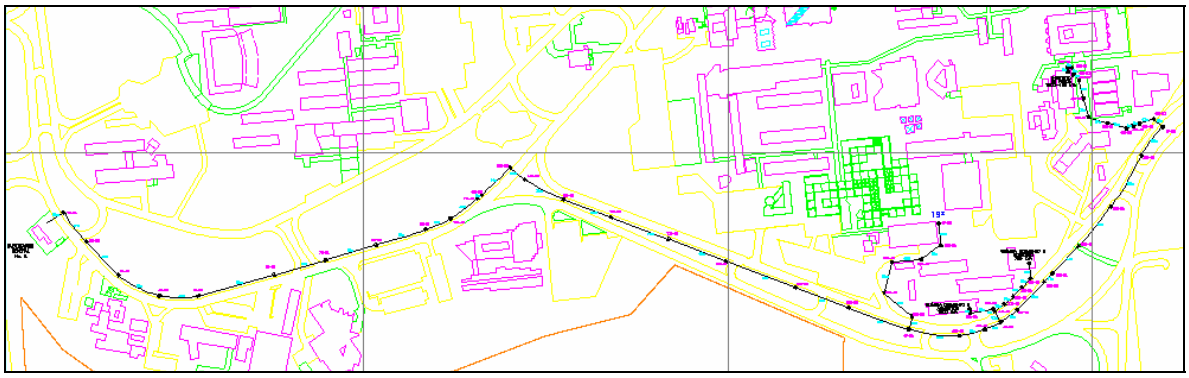


FIGURA 63. PLANO CIRCUITO "III"

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El circuito III se compone de 6 Seccionadores y 10 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
I-CIII-CIV	
2-CIII-CIV	**1500**
Quimica "D" talleres	750
Quimica "D" Aulas	750
3-CIII-CIV	**1500**
Tlauiz I	750
Tlauiz II	750
4-CIII-CIV	**600**
Amoxcalli I	300
Amoxcalli II	300
5-CIII-CIV	**2250**
Química Alim. E	1500
Química Gob E	750
6-CIII-CIV	**1650**
Instituto Física I	1500
Instituto Física II	150
TOTAL	**7500**

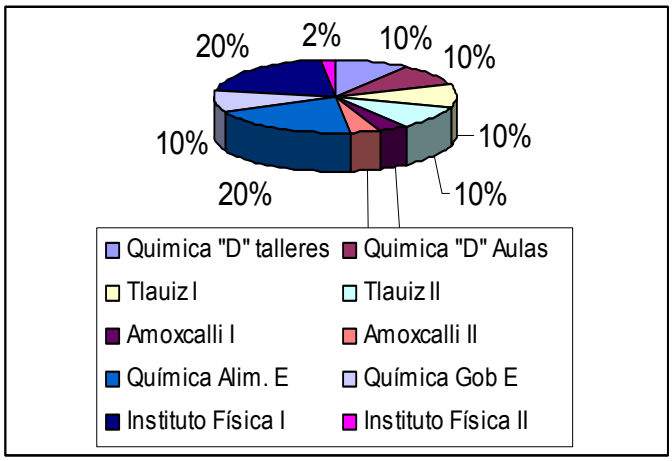


TABLA 80. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA CIRCUITO "III"

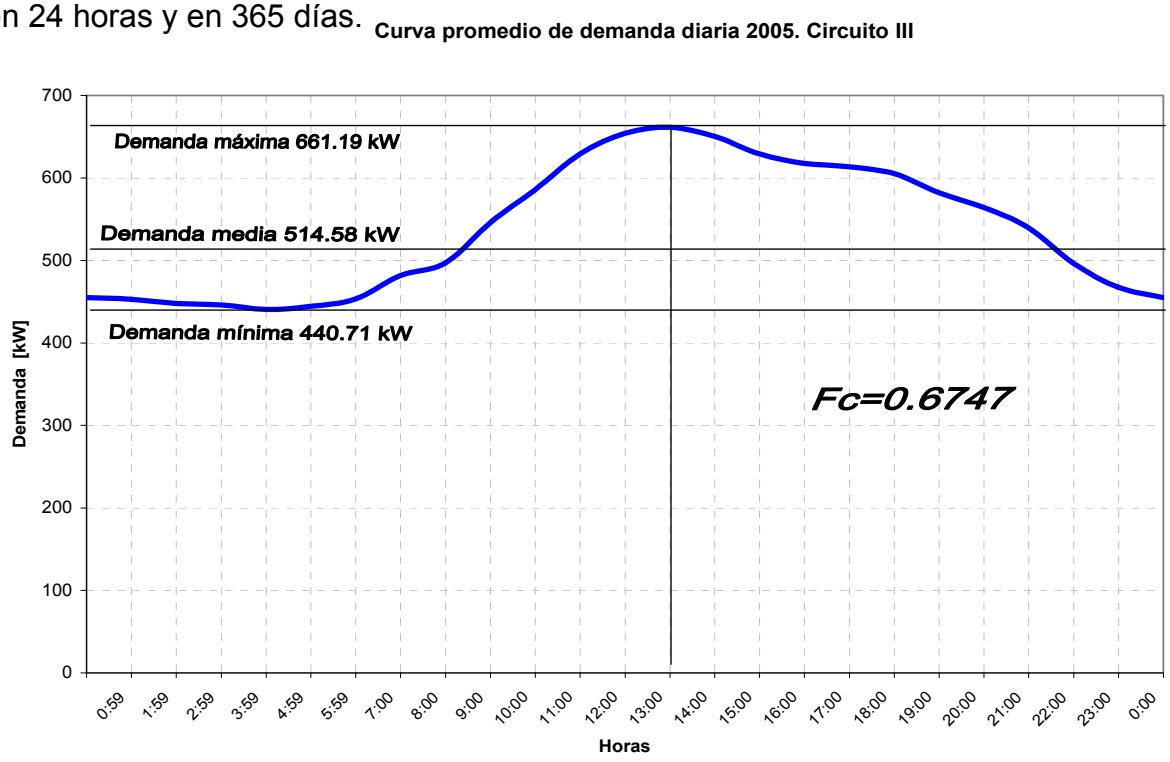
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del Circuito I es de 7.5 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 350kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 2, 4, 6 y 1/0 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

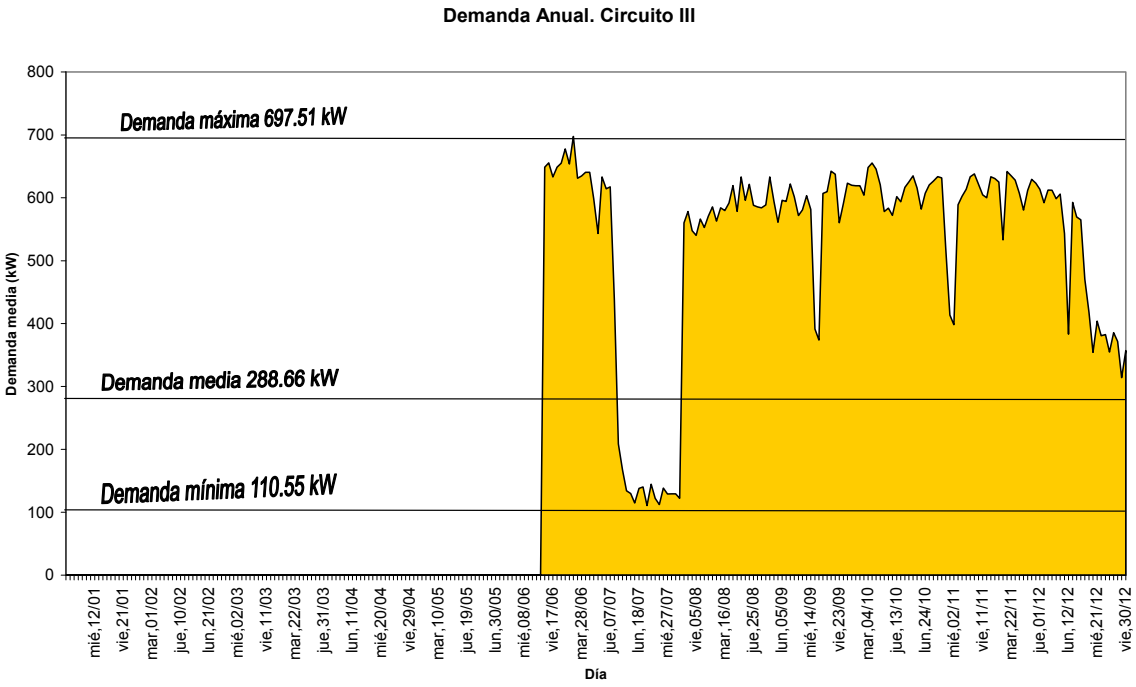
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[?/km]	L [km]	R [?]
Sub. 2 a 1-CIII-CIV	3H - 1Φ - 350kCM	0.118066	1.04	0.12278864
1-CIII-CIV a 2-CIII-CIV	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.3865108	0.16	0.061841728
1-CIII-CIV a 5-CIII-CIV	3H - 1Φ - 350kCM	0.118066	0.106	0.012514996
2-CIII-CIV a 3-CIII-CIV	1H - 3Φ - 4AWG	0.981812	0.32	0.31417984
2-CIII-CIV a R	1H - 3Φ - 6AWG	1.5535	0.07	0.108745
R a Química D Aula	1H - 3Φ - 6AWG	1.5535	0.1	0.15535
R a Química D Taller	1H - 3Φ - 4AWG	0.981812	0.08	0.07854496
3-CIII-CIV a 4-CIII-CIV	1H - 3Φ - 4AWG	0.981812	0.125	0.1227265

TABLA 81. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL CIRCUITO "III"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 36. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL CIRCUITO "III"



GRAFICA 37. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL CIRCUITO "III"

Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas.

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx. [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	Rlo2 [W]
Sub. 2 a 1-CIII-CIV	0.123			**140.159**	0.675	0.821	115.127	13254.258	1627.472
1-CIII-CIV a 2-CIII-CIV	0.062			**140.159**	0.675	0.821	115.127	13254.258	819.666
1-CIII-CIV a 5-CIII-CIV	0.013			**72.295**	0.675	0.821	59.383	3526.332	44.132
2-CIII-CIV a 3-CIII-CIV	0.314			**67.865**	0.675	0.821	55.744	3107.417	976.288
2-CIII-CIV a R	0.109			19.066	0.675	0.821	15.661	245.254	26.670
R a Química D Aula	0.155	110	0.92	11.505	0.675	0.821	9.450	89.309	13.874
R a Química D Taller	0.079	77	0.98	7.561	0.675	0.821	6.210	38.567	3.029
3-CIII-CIV a 4-CIII-CIV	0.123			**48.799**	0.675	0.821	40.084	1606.696	197.184
3-CIII-CIV a S	0.081			**25.860**	0.675	0.821	21.241	451.195	36.622
S a Tlahuiz I	0.039	90	0.692	12.515	0.675	0.821	10.280	105.672	4.084
S a Tlahuiz II	0.035	114	0.822	13.345	0.675	0.821	10.962	120.158	4.180
4-CIII-CIV a Amoxcalli I	0.049	140	0.75	17.962	0.675	0.821	14.754	217.681	10.686
4-CIII-CIV a Amoxcalli II	0.069	30	0.58	4.977	0.675	0.821	4.088	16.714	1.149
5-CIII-CIV a 6-CIII-CIV	0.035			**72.295**	0.675	0.821	59.383	3526.332	123.237
5-CIII-CIV a T	0.010			**27.671**	0.675	0.821	22.729	516.607	5.386
T a Química Alimentos E	0.014	155	0.75	19.887	0.675	0.821	16.335	266.826	3.764
T a Química Gob E	0.050	72	0.89	7.784	0.675	0.821	6.394	40.886	2.056
6-CIII-CIV a U	0.099			**44.624**	0.675	0.821	36.654	1343.511	133.227
U a Instituto Física I	0.155	70	0.9	7.484	0.675	0.821	6.148	37.792	5.863
U a Instituto Física II	0.069	330	0.855	37.139	0.675	0.821	30.506	930.642	63.960
		1188						**Total**	**4102.530**

TABLA 82. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL CIRCUITO "III" PARA 6 kV. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 4.1025 Kw-hr.

Las pérdidas totales en el circuito por día: 98.46 kW-hr/día.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 35,937.9 kW-hr/año.

V. 5. 2. 2 Circuito IV.



Diagrama unifilar.

DIAGRAMA 34. DIAGRAMA UNIFILAR CIRCUITO “IV”

Plano.

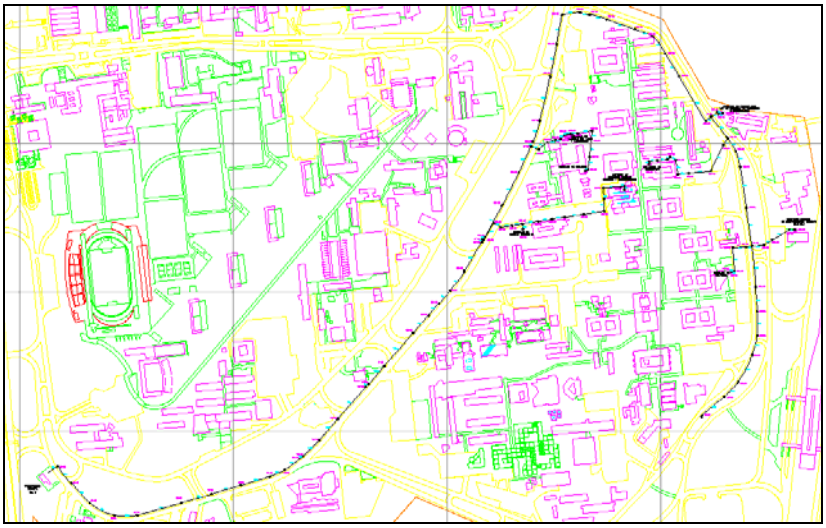


FIGURA 64. PLANO CIRCUITO “IV”

Seccionadores, Subestaciones Derivadas y Capacidad Instalada. El circuito III se compone de 6 Seccionadores y 9 Subestaciones Derivadas.

Seccionador y Subestación	Capacidad Total Instalada (kVA)
I-CIV-CIII	**500**
Posgrado Contaduria	500
2-CIV-CIII	**2250**
Ins. Química B	750
Ins. Fisiología	1500
3-CIV-CIII	**725**
Biología	225
I C Mar	500
4-CIV-CIII	**450**
Pos. Odontología	300
B.Veterinaria	150
5-CIV-CIII	**700**
DGAE	200
Instituto Geofísica	500
TOTAL	**4625**

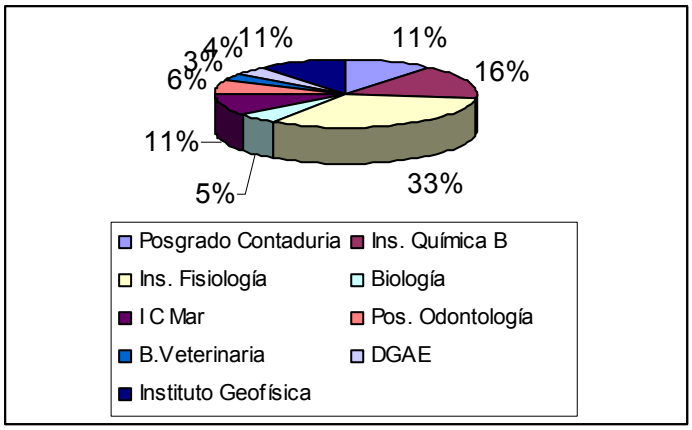


TABLA 83. CAPACIDAD TOTAL INSTALADA CIRCUITO "IV"

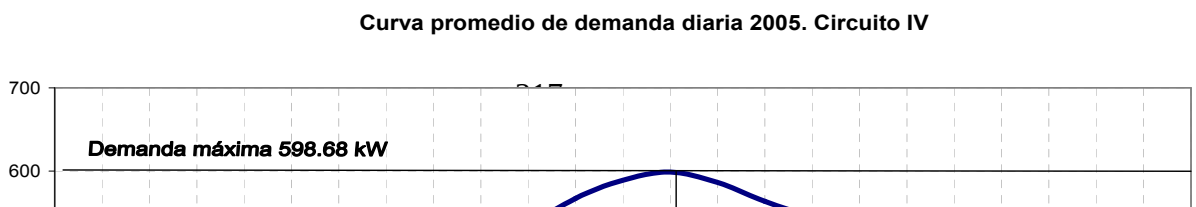
De la tabla tenemos que la Capacidad Total Instalada del Circuito I es de 4.625 MVA.

Conductores. En este caso se tienen conductores subterráneos del tipo Kerite 8 kV de aislamiento EPDM de tres conductores con pantalla individual para cada fase, con cubierta externa y sin armadura, de calibre 350kCM para el circuito troncal, y conductores monopolares con pantalla y aislamiento EPDM de calibre 4 y 1/0 AWG para circuitos derivados, su distribución y el cálculo de la resistencia se presenta a continuación:

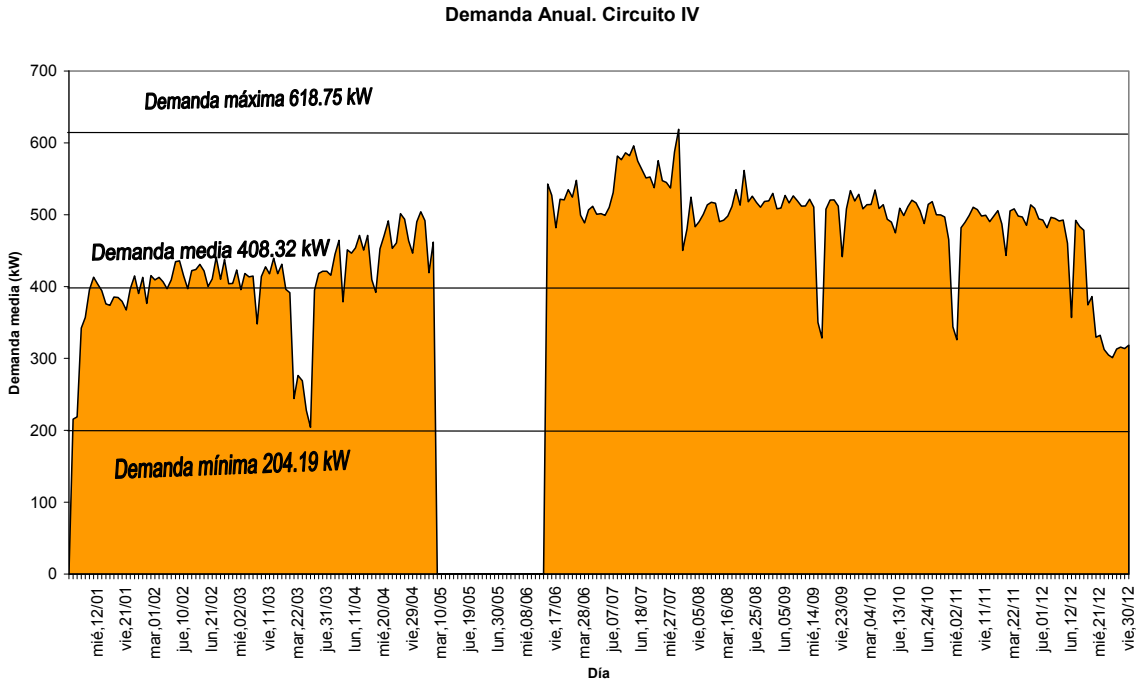
TRAMO	CALIBRE	RESISTENCIA		
		ρ[?/km]	L [km]	R [?]
1-CIV-CIII a Alimentador	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.50	0.49
2-CIV-CIII a 1-CIV-CIII	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.58	0.23
1-CIV-CIII a Posgrado Conta	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.72	0.71
3-CIV-CIII a 2-CIV-CIII	3H - 1Φ - 350kCM	0.12	0.20	0.02
2-CIV-CIII a Ins. Química B	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.11	0.04
2-CIV-CIII a Ins. Fisiología	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.18	0.07
4-CIV-CIII a 3-CIV-CIII	3H - 1Φ - 350kCM	0.12	0.63	0.07
3-CIV-CIII a Biología	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.15	0.15
3-CIV-CIII a I C Mar	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.05	0.05
5-CIV-CIII a 4-CIV-CIII	3H - 1Φ - 350kCM	0.12	0.26	0.03
4-CIV-CIII a Pos. Odonto	1H - 3Φ - 2AWG	0.61	0.04	0.02
4-CIV-CIII a B. Veterinaria	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.25	0.10
5-CIV-CIII a DGAE	1H - 3Φ - 4AWG	0.98	0.09	0.09
5-CIV-CIII a Inst. Geofísica	3H - 1Φ - 1/0AWG	0.39	0.06	0.02
6-CIII-CIV a 5-CIV-CIII	3H - 1Φ - 4AWG	0.98	0.35	0.34

TABLA 84. TRAMOS Y CALIBRES DE CONDUCTORES EN EL CIRCUITO "IV"

Curvas de demanda anual. En estas curvas se puede apreciar el comportamiento de la demanda anual visto desde dos perspectivas distintas, en 24 horas y en 365 días.



GRAFICA 38. CURVA DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DURANTE UN AÑO DEL CIRCUITO "IV"



GRAFICA 39. CURVA DE DEMANDA ANUAL DEL CIRCUITO "IV"

Pérdidas en conductores.

Se calculan las pérdidas por efecto joule para sección de conductor de acuerdo a la demanda máxima y el factor de pérdidas para este día:

TRAMO	R [Ω]	Demanda Máx. [kW]	cos θ	Imáx. 6000 V	Factor de Pérdidas λ	Factor de Pérdidas λ1/2	Io	Io2	RIo2 [W]
1-CIV-CIII a Alimentador	0.491			182.70	0.59	0.77	140.34	19695.08	9668.43
2-CIV-CIII a 1-CIV-CIII	0.225			**182.70**	0.59	0.77	140.34	19695.08	4438.01
1-CIV-CIII a Posgrado Conta	0.707	210.0	0.90	22.45	0.59	0.77	17.25	297.43	210.26
3-CIV-CIII a 2-CIV-CIII	0.024			**160.25**	0.59	0.77	123.09	15151.87	364.94
2-CIV-CIII a Ins. Química B	0.041	310.0	0.90	33.14	0.59	0.77	25.46	648.15	26.55
2-CIV-CIII a Ins. Fisiología	0.070	450.0	0.90	48.11	0.59	0.77	36.96	1365.76	95.55
4-CIV-CIII a 3-CIV-CIII	0.074			**79.00**	0.59	0.77	60.68	3681.83	273.86
3-CIV-CIII a Biología	0.148	71.0	0.79	8.70	0.59	0.77	6.69	44.69	6.63
3-CIV-CIII a I C Mar	0.046	126.0	0.95	12.76	0.59	0.77	9.80	96.10	4.43
5-CIV-CIII a 4-CIV-CIII	0.031			**57.53**	0.59	0.77	44.19	1952.74	60.64
4-CIV-CIII a Pos. Odonto	0.025	163.0	0.86	18.24	0.59	0.77	14.01	196.25	4.81
4-CIV-CIII a B. Veterinaria	0.097	62.5	0.90	6.68	0.59	0.77	5.13	26.35	2.57
5-CIV-CIII a DGAE	0.092	110.0	0.90	11.76	0.59	0.77	9.03	81.61	7.53
5-CIV-CIII a Inst. Geofísica	0.024	195.0	0.90	20.85	0.59	0.77	16.01	256.46	6.05
6-CIII-CIV a 5-CIV-CIII	0.342		0.00	0.00	0.59	0.77	0.00	0.00	0.00
								Total	**15170.25**

TABLA 85. PÉRDIDAS EN CONDUCTORES DEL CIRCUITO “IV” PARA 6 kV. ANUAL.

Las pérdidas totales en el circuito: 15.170 kW/hr.

Las pérdidas totales en el circuito en un dia: 364.08 kW/hr/dia.

Las pérdidas totales en el circuito por año: 132.891 MW/hr/año.

Tablas comparativas sobre el cálculo de factores y análisis de demandas de los circuitos que componen la Subestación General No. 2.

ANÁLISIS ANUAL				
SEG. 2 CAPACIDAD INSTALADA: 5000 kVA				
Alimentadores	I	II	III	IV
Longitud [km]	3.9	4.886	3.268	4.18
No. De Cargas	5	17	6	9
Capacidad Instalada [kVA]	2362	9825	7500	4625
Imax[A]	105.780	386.502	140.159	182.700
Demanda Máxima [kW]	826.220	1895.220	661.190	598.680
Demanda Promedio [kW]	636.990	1444.330	514.580	436.120
Demanda Mínima [kW]	501.540	1207.340	440.710	348.660
Suma de Demandas Máx. Individuales	975.5	3436.8	1188	1697.5
Factor de Carga	0.771	0.762	0.778	0.728
Factor de Demanda	0.350	0.193	0.088	0.129
Factor de Utilización	0.165	0.253	0.088	0.080
Demanda Máx. no coincidente	195.100	202.165	198.000	188.611
Factor de Coincidencia	0.847	0.551	0.557	0.353
Factor de pérdidas1	0.647	0.635	0.657	0.590
Factor de pérdidas2	0.665	0.653	0.675	0.610
Pérdidas [kW-hr/año]	22 441.444	241 803.34	35 937.9	132 891.426

TABLA 86. COMPARATIVA SOBRE EL CÁLCULO DE FACTORES Y ANÁLISIS DE DEMANDAS.

La Subestación General No. 2 es más pequeña que la Subestación General No. 1 en cuanto al número de alimentadores, a la cantidad de cargas y al área que alimenta, sin embargo, la longitud de sus conductores no es muy distinta entre ambas.

- En este caso notamos que los factores de carga no son muy distintos entre los cuatro circuitos que componen esta subestación, pero tomemos en cuenta que en el circuito II tenemos el mayor número de cargas, es decir, la mayor capacidad instalada, incluso sobrepasa por casi el doble la capacidad de la Subestación General no. 2. De acuerdo a lo anterior podemos observar que la demanda máxima se encuentra también en el circuito II, por lo que este cuenta con la mayor cantidad de pérdidas. En las pérdidas también influye que el circuito II es el más largo.

- En cuanto a los circuitos I y III observamos que las longitudes son valores cercanos, el circuito III tiene un factor de carga ligeramente mayor que el circuito I, pero la sección transversal en la mayoría de sus conductores son mayores, lo que provoca menor cantidad de pérdidas. Tomando en cuenta las demandas máximas y la corriente máxima, además de lo ya mencionado, llegamos a la conclusión que el mejor circuito es el III, porque sus pérdidas no son mucho mayores que las del I tomando en cuenta que alimenta más cargas.

- El circuito IV es el peor circuito, porque tiene la menor demanda, su longitud no es mayor que la del circuito II, y su factor de carga y pérdidas son los menores también, sin embargo sus pérdidas son sumamente considerables al estar en segundo lugar de los cuatro circuitos.

Capítulo VI.
PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

VI. 1 Justificación de la propuesta.

Actualmente se cuenta con diversas evaluaciones y diagnósticos sobre la red de distribución de Ciudad Universitaria. Dentro de estas evaluaciones se cuenta el trabajo presentado a lo largo de estas páginas, con el cual intentamos dar un panorama general de las condiciones actuales del sistema, con el fin de plantear y justificar una mejora de la red eléctrica de Ciudad Universitaria.

A continuación mencionamos algunos de los puntos principales encontrados en nuestra evaluación:

Hay que mencionar que los circuitos faltantes de la subestación 1 no fueron considerados en el análisis, dado que no contamos con la información, debido probablemente a la baja utilización de los mismos, ya que alimentan el Estadio Olímpico y no se encuentran en uso más que cuando hay partidos de fútbol o eventos extraordinarios.

Se realizaron recorridos a lo largo de los circuitos y en sus respectivos alimentadores, donde nos pudimos percatar que el equipo ya no se encuentra en óptimo estado (cables deteriorados, con malos soportes, mal acomodo de los mismos en sus registros, terminales con falsos contactos, aislamientos dañados, etc), por tanto, no es posible tener una operación efectiva del sistema al fallar sus componentes principales. Existe equipo con 50 años de operación, que ha tenido que ser ajustado o reparado, lo que provoca también un estado de operación poco eficiente. Además, tenemos que para este tipo de equipo viejo ya no es muy fácil encontrar refacciones, lo que puede complicar el regreso a operación del sistema.

La capacidad de la Subestación General no.1 es de 7.5 MVA, y de acuerdo a los registros de demanda del 2005 tenemos que el promedio de demanda es de 3.369 MVA y encontramos que continuamente se presentan demandas

máximas que rebasan los 8 MVA durante el periodo de clases, por lo cual notamos que existe una sobrecarga constante del sistema; por otro lado, para la Subestación General no. 2 tenemos una situación con una capacidad de 5 MVA y calculamos una demanda promedio de 2.943 MVA y con picos que rebasan continuamente los 5.3 MVA. Esta situación se puede ver reflejada cuando se llevan a cabo eventos nocturnos, en su mayoría partidos de fútbol, en el Estadio Olímpico Universitario y no se utiliza el alumbrado total del mismo, o se utiliza el alumbrado total y se descarga por otro lado el sistema de distribución.

La mayoría de los transformadores se encuentran desperdiciados por la demanda máxima que pueden llegar a satisfacer en comparación con la capacidad que tienen, en los circuitos que componen la Subestación General no. 1 tenemos una capacidad instalada de 27.4875 MVA, 3.67 veces más de lo que puede alimentar, y en el caso de la Subestación General no. 2 se tiene una capacidad instalada de 24.312 MVA, es decir casi 5 veces la capacidad de la subestación, esto provoca que se tengan mayores pérdidas correspondientes a las pérdidas magnéticas de los transformadores.

La tensión de distribución utilizada en las Subestaciones Generales 1 y 2 es de 6 kV, esta es una tensión ya obsoleta en los sistemas eléctricos, el nuestro no es la excepción, pues nuestra red ya nos es capaz de satisfacer las demandas crecientes de la Universidad, además el sistema en 6 kV ya no es posible expandirlo, pues sería muy costoso y poco confiable instalar más alimentadores. La sobrecarga del sistema de 6 kV, provoca envejecimiento de los equipos, el exceso de corriente daña los aislamientos de los conductores y provoca mayores pérdidas. Las pérdidas en los conductores son muy considerables, pues se tienen pérdidas por efectos resistivos, capacitivos, inductivos, existencia de armónicos, efecto corona y por el desgaste de los conductores, sumado a todo esto existen las pérdidas de energía provocadas por fallas en el sistema.

En el estudio que realizamos nos enfocamos en el cálculo de las pérdidas por efecto Joule en los conductores, pues son las más importantes y significativas

para demostrar la cantidad de energía desperdiciada. Los resultados obtenidos son:

SUBESTACIÓN 1		
	PÉRDIDAS	
	Día	Año
CIRCUITO	[kW/hr]	[kW/hr]
A	39.6713	14480.027
F	280.536	102395.64
G	1101.096	401900.4
H	70.344	25675.56
I	169.295	61792.607
J	12.084	14673
K	0.652	237.98
TOTAL	**1673.678114**	**621155.2142**

TABLA 87. PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE EN LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 1

SUBESTACIÓN 2		
	PÉRDIDAS	
	Día	Año
CIRCUITO	[kW/hr]	[kW/hr]
I	61.464	22441.444
II	583.32	241803.34
III	98.46	35937.9
IV	15.170	132891.426
TOTAL	758.414	433074.1098

TABLA 88. PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE EN LA SUBESTACIÓN GENERAL No. 2

En total tenemos unas pérdidas aproximadas por efecto Joule mayores a 621 MW/hr al año, si lo comparamos con la energía consumida al año por ambas subestaciones, tenemos lo siguiente:

SUBESTACIÓN	Energía Anual Consumida [MW/hr]	Pérdidas anuales [MW/hr]	%Pérdidas
SEG1	26564.80491	621.1552142	2.33826379
SEG2	26560.50612	433.0741098	1.630519041
TOTAL	**53125.31104**	**1054.229324**	**1.98442005**

TABLA 89. PORCENTAJE DE PÉRDIDAS ANUALES

Con esto podemos ver que más del 1.98 % de la energía demandada por la Universidad se pierde sólo por efecto Joule, esto es un valor muy alto ya que es energía que no es utilizada, esto traducido a un valor monetario, es una cifra bastante significativa.

La cantidad de fallas que se han presentado con más frecuencia en últimos años en el sistema, se puede traducir en pérdidas de diversos tipos, para alumnos, investigadores, personal administrativo, y demás personas que acuden a Ciudad Universitaria. Este punto es posible cuantificarlo, pero es cierto que es más económico prevenir fallas que invertir tiempo y costos en detección y reparación de estas.

La creciente demanda, el envejecimiento del equipo, la sobrecarga, las continuas fallas y las pérdidas excesivas de energía son un reflejo de la necesidad ineludible de una renovación urgente del sistema eléctrico de Ciudad Universitaria.

VI. 2. Propuesta técnico económica.

Con los datos obtenidos durante nuestro diagnóstico y análisis de las pérdidas por efecto Joule de la red de distribución a 6 kV, hemos evidenciado la importancia de llevar a cabo una mejora del sistema. La solución más acertada puede ser un cambio de tensión de la red, elevándola de 6600 V a 23000 V, con lo que se obtendrían múltiples ventajas que mencionamos a continuación:

Al elevar la tensión de distribución a 23 kV, se puede prescindir de transformadores en las Subestaciones Generales, pues la acometida de LyFC es de 23 kV, con lo que aumentamos la confiabilidad y eliminamos las pérdidas en estos transformadores de gran capacidad. Además la capacidad del sistema aumenta considerablemente pues dependerá de la energía que nos pueda suministrar la subestación Odón de Buen de LyFC.

La corriente en los conductores disminuye al elevar la tensión, por lo que se tendrá menos calentamiento en estos y una menor cantidad de pérdidas por efecto joule, como el objetivo esencial de este trabajo es el cálculo de las pérdidas en los conductores, por lo que a continuación presentamos un análisis en 23kV.

Para encontrar las pérdidas aproximadas a 23 kV utilizamos los datos obtenidos en el análisis de la red de 6 kV para resistencia de los conductores y demandas máximas, hay que mencionar que la tensión real a la que opera el sistema difiere de la nominal y se encuentra cercana a los 6 kV, dato que utilizamos para el cálculo. Con el dato de corriente máxima obtenemos la corriente máxima a 23kV considerando que la potencia requerida será la misma en ambos casos, esto es:

$$P = VI$$
$$P_{6kV} = 6 * I_{6kV}$$
$$P_{23kV} = 23 * I_{23kV}$$
$$si \quad P_{6kV} = P_{23kV}$$
$$6 * I_{6kV} = 23 * I_{23kV}$$
$$Despejando \quad I_{23kV}$$
$$I_{23kV} = \frac{6}{23} I_{6kV}$$

Con esta relación encontramos las pérdidas a 23 kV, veamos el caso del circuito A de la SEG1:

TRAMO	Imáx. 23 kV		Pérdidas	
		Io	Io2	RIo2 [W]
Alim. a 1AB	42.747	32.403	1049.945	119.257
1AB a C.Marcador	3.068	2.326	5.409	0.483
1AB a Torre2	7.531	5.708	32.586	0.053
A. Maratón a 1AB	13.740	10.415	108.473	6.648
2A a A. Maratón	1.478	1.121	1.256	0.213
2A a Tall. Conserv.	6.589	4.995	24.948	8.794
2A a D.G.O.	2.697	2.044	4.180	0.525
2A a DGADR	2.975	2.255	5.086	1.533
1AB a 3AB	18.408	13.954	194.709	6.873
3AB a Torre3	9.204	6.977	48.677	0.119
3AB a Vestidores	9.204	6.977	48.677	0.660
			Total	**145.159**

TABLA 90. CALCULO DE PERDIDAS A 23 KV EN EL ALIMENTADOR “A”

Pérdidas en 6000 V [kW/hr]		Pérdidas en 23kV [kW/hr]		Diferencia [kW/hr]		Porcentaje de ahorro
al día	al año	al día	al año	al día	al año	
39.671	14480.0274	2.700	985.408295	36.972	13494.6192	93.194707

TABLA 91. PORCENTAJE DE AHORRO DE ENERGÍA ELEVANDO LA TENSIÓN DE 6 kV A 23 kV.

De la tabla podemos observar que las pérdidas por efecto joule se reducen en un 93.194 %, con este dato podemos obtener el total de reducción de pérdidas, es decir energía ahorrada:

SUBESTACIÓN	Pérdidas anuales 6kV [MW/hr]	Pérdidas Anuales 23kV [MW/hr]	Energìa ahorrada [MW/hr]
SEG1	621.155214	42.27143234	578.883782
SEG2	433.07411	29.4719621	403.602148
TOTAL	**605.086363**	**71.74339445**	**533.342968**

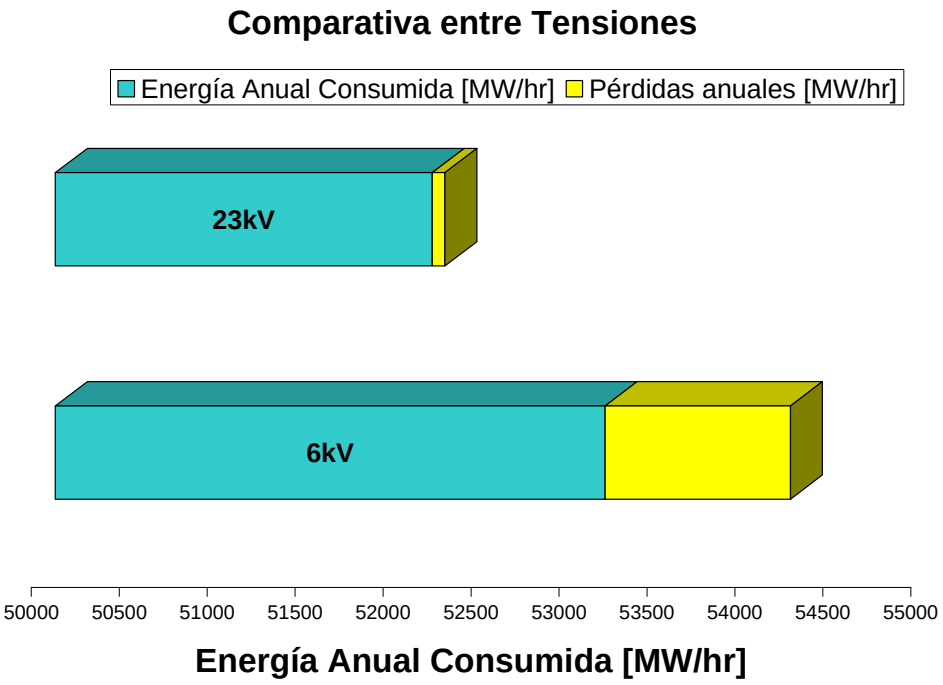
TABLA 92. ENERGÍA AHORRADA CON CAMBIO DE TENSIONES

Ahora si comparamos el nuevo dato de pérdidas con la nueva energía anual consumida a 23 kV:

23 kV			
SUBESTACIÓN	Energía Anual Consumida [MW/hr]	Pérdidas anuales [MW/hr]	%Pérdidas
SEG1	25985.92113	42.2714323	0.16267052
SEG2	26156.90398	29.4719621	0.11267374
TOTAL	**52142.82511**	**71.7433944**	**0.13759016**

TABLA 93. PORCENTAJE DE PÉRDIDAS A UNA TENSIÓN DE 23 kV.

De aquí tenemos que las pérdidas por efecto Joule anuales a 23 kV equivalen a sólo un 0.1375% del consumo anual de energía, valor mucho menor al 1.98% que teníamos con una tensión de 6 kV. Si lo representamos gráficamente:



GRAFICA 40. COMPARATIVA DE LA ENERGÍA ANUAL CONSUMIDA ENTRE TENSIONES.

Con esto vemos la principal ventaja del cambio de tensión pues disminuye la energía necesaria además de que se tiene un porcentaje muy pequeño de pérdidas por efecto Joule.

Otro punto que vale la pena resaltar es que para 23 kV la caída de tensión en los puntos alejados de los alimentadores será mucho menor que para 6kV, esto aunado con un cambio de conductores mejora considerablemente el porciento de regulación y disminuye las pérdidas ocasionadas por este fenómeno, además con una renovación de los conductores se aumenta la confiabilidad del sistema reduciendo fallas, para esto es necesario seleccionar el conductor adecuado.

Ya comentamos que la función principal de un cable de energía subterráneo (en nuestro caso), es transportar energía eléctrica Sabemos que la parte de un cable de energía denominada conductor, corresponde a la parte central del cable destinada a conducir la corriente eléctrica, y es en este punto donde nos enfocamos para determinar la cantidad de corriente que necesitamos que

transporte. A mayor sección transversal de los conductores eléctricos es mayor su capacidad de conducción de corriente y menores las pérdidas.
Además, es importante tomar en cuenta el tipo de material del cual se encuentra constituido el conductor, los aislamientos y demás partes del cable.

En le caso de nuestra red de distribución hay que considerar lo siguiente:

Limitación de temperatura. La temperatura que alcance un conductor puede dañar los aislamientos, al tener una instalación subterránea no se tiene una ventilación óptima, por lo que puede haber sobrecalentamiento que dañe los aislamientos del conductor, es por esto que se deberán elegir asilamientos con temperatura de operación de mínimo 75º, además hay que considerar el factor de corrección por temperatura nos indica en que porcentaje disminuye la capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos conforme aumenta la temperatura ambiente.

Humedad. Nuestra red tiene muchos lugares húmedos debido al ambiente y la vegetación, esto provoca acumulación de humedad dentro de los ductos, además se presenta inundación de las instalaciones subterraneas en época de lluvias, por lo tanto los conductores deben tener aislamiento del tipo seco resistente a la humedad, forro de plomo o un tipo de aislamiento aprobado para estas condiciones de trabajo, como el EP o XLP.

Conductor. Como ya mencionamos, el material conductor ideal es el cobre, para el cálculo del calibre de los conductores tomamos en consideración la corriente por transportar y la caída de tensión máxima permisible o factor de regulación.

Otro factor a considerar es el de corrección por agrupamiento que marca el por ciento de área del cobre que se debe agregar a los conductores eléctricos según el número de estos, dentro de una misma canalización

De acuerdo a la tensión que estamos proponiendo y las canalizaciones subterráneas, conviene que el sistema trifásico de distribución se componga

de tres conductores monofásicos, de cableado concéntrico compacto tipo B, pues en la mayoría de los casos se cuentan con tres ductos, eliminando el factor por agrupamiento y disminuyendo el calentamiento de los conductores.

La expresión utilizada para calcular el factor de regulación es:

$$e\% = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I}{V_f * S}$$

Donde: e = factor de regulación.

L = longitud del conductor.

I = corriente máxima transportada por el conductor.

V_f = tensión entre fases.

S = área de la sección transversal de los conductores.

A partir de esta expresión realizamos el cálculo del calibre de los conductores, basándonos en los diámetros normalizados de la especificación LFC GDD-025 para Cables de 23 TC de Luz y Fuerza del Centro, donde se utilizan cuatro calibres de conductores, de acuerdo a su área transversal, los cuales son:
50 mm^2, 70 mm^2, 150 mm^2 y 240 mm^2.

De acuerdo al tramo de cada circuito notamos que el conductor puede ser del tipo troncal cuando pertenece al anillo o ramal, cuando pertenece a derivaciones del anillo, lo que implica mayor o menor cantidad de corriente conducida. De lo anterior, seleccionamos el área transversal que nos diera un factor de regulación menor al 3% para saber que tenemos el tipo de conductor adecuado. A manera de ejemplo tenemos la siguiente tabla:

Selección de calibre del conductor					
TRAMO	L [km]	Imáx. 23 kV	Designacion del cable	Área de los conductores (mm2)	Porcentaje de Regulación (%)
Sub. 2 a 1-CII-CI	0.160	100.827	240.000	253.400	0.959
1-CII-CI a 2-CII-CI	0.074	18.680	150.000	152.000	0.137
2-CII-CI a Univ. Abierta	0.010	2.712	50.000	53.480	0.008
2-CII-CI a DGSCA	0.195	11.253	70.000	67.430	0.490
2-CII-CI a C. Instrumentos	0.152	4.715	70.000	67.430	0.160
3-CII-CI a 1-CII-CI	0.564	82.146	240.000	253.400	2.754
Q a 3-CII-CI	0.050	15.295	50.000	53.480	0.215
Q a Ciencias II	0.060	8.186	50.000	53.480	0.138
Q a Ciencias I	0.220	7.109	50.000	53.480	0.440
4-CII-CI a 3-CII-CI	0.660	66.851	240.000	253.400	2.622
4-CII-CI a C. Nucleares	0.084	3.138	50.000	53.480	0.074
5-CII-CI a 4-CII-CI	0.075	63.713	150.000	152.000	0.473
5-CII-CI a Inv. Mat.	0.102	6.364	50.000	53.480	0.183
6-CII-CI a 5-CII-CI	0.148	57.349	150.000	152.000	0.841
7-CII-CI a 6-CII-CI	0.320	57.349	240.000	253.400	1.091
7-CII-CI a GEOS	0.100	3.882	50.000	53.480	0.109
7-CII-CI a CICH	0.197	10.482	70.000	67.430	0.461
7-CII-CI a Inv. Materiales	0.279	8.867	70.000	67.430	0.553
7-CII-CI a Ins. Química A	0.227	5.578	50.000	53.480	0.357
7-CII-CI a Ins. Geología	0.135	4.400	50.000	53.480	0.167
7-CII-CI a P	0.100	2.878	50.000	53.480	0.081
P a Tanque H	0.010	1.813	50.000	53.480	0.005
P a Ins. Geografía	0.064	1.065	50.000	53.480	0.019
8-CII-CI a 6-CII-CI	0.149	21.262	150.000	152.000	0.314
8-CII-CI a Fisiología	0.102	10.010	50.000	53.480	0.288
9-CII-CI a 8-CII-CI	0.255	11.252	150.000	152.000	0.284
9-CII-CI a Fac. Veterinaria II	0.150	7.372	50.000	53.480	0.311
9-CII-CI a Fac. Veterinaria I	0.244	3.879	50.000	53.480	0.267

TABLA 94. SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR PROPUESTA 1. CIRCUITO II, SUBESTACION GENERAL No. 2

En esta tabla se puede visualizar el procedimiento descrito con anterioridad. En la primera columna tenemos los distintos tramos que componen el circuito II alimentado por la subestación general no. 2. En la segunda columna tenemos la longitud de cada tramo de conductor. En la tercera columna tenemos la corriente máxima que circula por cada tramo de conductor para alimentar a las cargas correspondientes. En la cuarta columna estamos escogiendo el área de sección transversal necesaria para conducir la energía máxima calculada en la columna tres. Por último, por medio de la expresión de factor de regulación mencionada antes, calculamos el calibre más adecuado, desde el punto de vista eléctrico y económico, con un por ciento de regulación por debajo del 3%, o bien si consideramos que la red deba soportar el crecimiento de demanda durante un largo tiempo, será conveniente tomar conductores de 240mm^2 de área transversal para los troncales y de 70 mm^2 para las derivaciones, con estos calibres se sigue cumpliendo con un

porcentaje de regulación menor al 3%, se tendrá una reducción mayor de pérdidas por efecto Joule, pero un mayor costo en los conductores, como podemos ver a continuación:

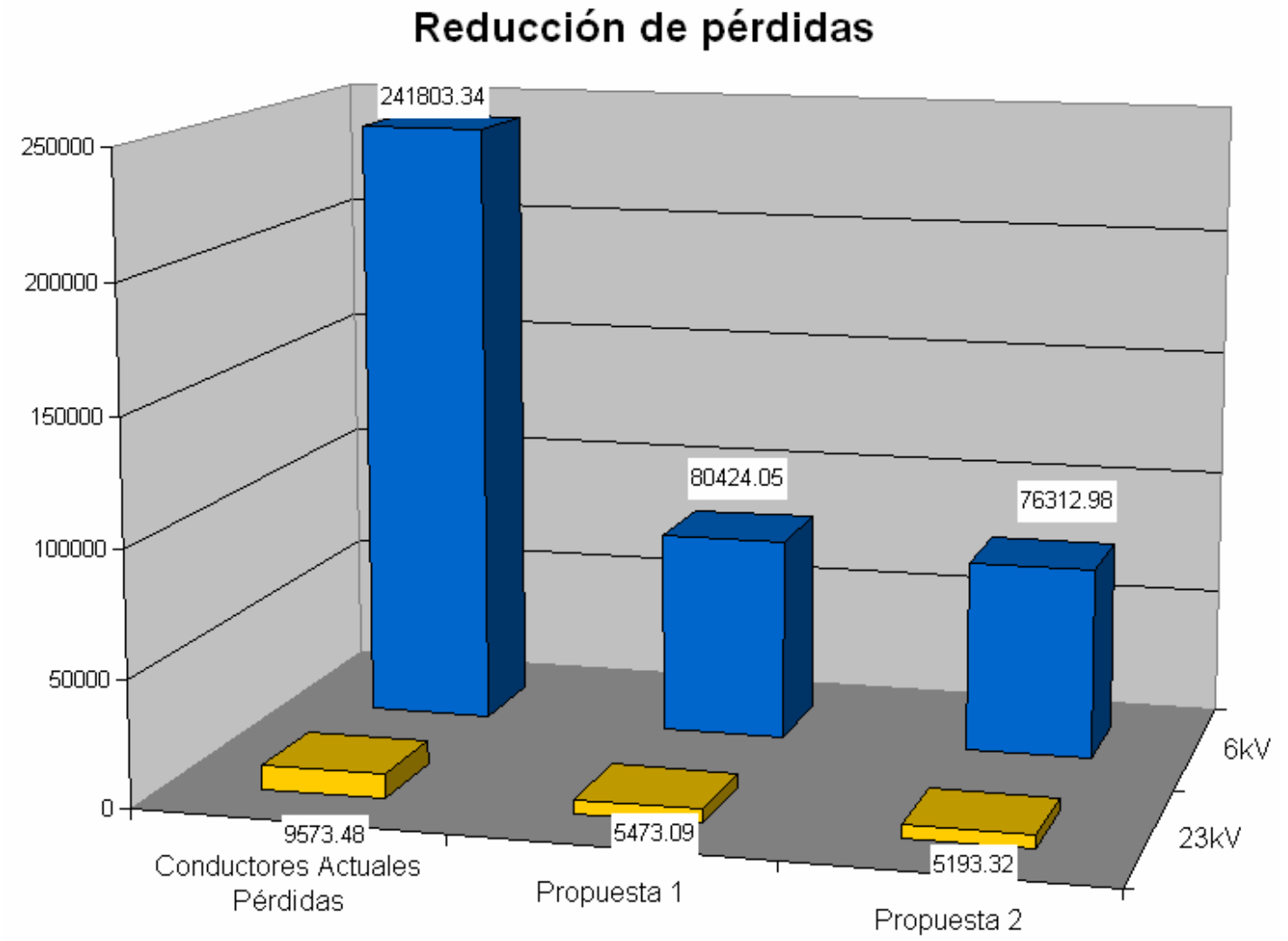
Selección de calibre del conductor					
TRAMO	L [km]	Imáx. 23 kV	Designacion del cable	Área de los conductores (mm2)	Porcentaje de Regulación (%)
Sub. 2 a 1-CII-CI	0.160	100.827	240.000	253.400	0.959
1-CII-CI a 2-CII-CI	0.074	18.680	70.000	67.430	0.309
2-CII-CI a Univ. Abierta	0.010	2.712	70.000	67.430	0.006
2-CII-CI a DGSCA	0.195	11.253	70.000	67.430	0.490
2-CII-CI a C. Instrumentos	0.152	4.715	70.000	67.430	0.160
3-CII-CI a 1-CII-CI	0.564	82.146	240.000	253.400	2.754
Q a 3-CII-CI	0.050	15.295	70.000	67.430	0.171
Q a Ciencias II	0.060	8.186	70.000	67.430	0.110
Q a Ciencias I	0.220	7.109	70.000	67.430	0.349
4-CII-CI a 3-CII-CI	0.660	66.851	240.000	253.400	2.622
4-CII-CI a C. Nucleares	0.084	3.138	70.000	67.430	0.059
5-CII-CI a 4-CII-CI	0.075	63.713	240.000	253.400	0.284
5-CII-CI a Inv. Mat.	0.102	6.364	70.000	67.430	0.145
6-CII-CI a 5-CII-CI	0.148	57.349	240.000	253.400	0.504
7-CII-CI a 6-CII-CI	0.320	57.349	240.000	253.400	1.091
7-CII-CI a GEOS	0.100	3.882	70.000	67.430	0.087
7-CII-CI a CICH	0.197	10.482	70.000	67.430	0.461
7-CII-CI a Inv. Materiales	0.279	8.867	70.000	67.430	0.553
7-CII-CI a Ins. Química A	0.227	5.578	70.000	67.430	0.283
7-CII-CI a Ins. Geología	0.135	4.400	70.000	67.430	0.133
7-CII-CI a P	0.100	2.878	70.000	67.430	0.064
P a Tanque H	0.010	1.813	70.000	67.430	0.004
P a Ins. Geografía	0.064	1.065	70.000	67.430	0.015
8-CII-CI a 6-CII-CI	0.149	21.262	240.000	253.400	0.188
8-CII-CI a Fisiología	0.102	10.010	70.000	67.430	0.228
9-CII-CI a 8-CII-CI	0.255	11.252	240.000	253.400	0.171
9-CII-CI a Fac. Veterinaria II	0.150	7.372	70.000	67.430	0.247
9-CII-CI a Fac. Veterinaria I	0.244	3.879	70.000	67.430	0.211

TABLA 95. SELECCIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR, PROPUESTA 2. CIRCUITO II, SUBESTACION GENERAL No. 2

En la siguiente tabla tenemos los valores de pérdidas para cada uno de los casos descritos anteriormente, la propuesta 1 es con conductores de los cuatro calibres, y la propuesta 2 con solo dos calibres:

Conductores	Pérdidas [kW/hr]	
	6kV	23kV
Conductores Actuales	241803.34	16455.43
Propuesta 1	80424.05	5473.09
Propuesta 2	76312.98	5193.32

TABLA 96. COMPARATIVA DE LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS CON CAMBIO DE CONDUCTORES Y TENSIONES.



GRAFICA 41. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

Como observamos en el gráfico las pérdidas en 23 kV se reducen considerablemente con respecto a las de 6 kV, además con el cambio de conductores de la propuesta 1 se tiene una reducción mayor, y en el caso de la propuesta 2 como comentamos anteriormente se tienen menos pérdidas, pero un porcentaje de regulación de tensión más alto y un mayor costo de los conductores que la en la propuesta 1. Un comportamiento similar tendremos para todos los demás circuitos de la red.

De acuerdo a todo lo anterior las características que se proponen para los cables a utilizar en la red de distribución, de acuerdo a la especificación LFC GDD-025 y la norma NMX-J-142 son:

- Cable Monoconductor de cobre cableado concéntrico compacto tipo B o C.

- Tensión de operación 23kV
- Aislamiento Termofijo ya sea Etileno Propileno (EP) o Polietileno de cadena cruzada extruido (XLP) 75ºC. Clase 2 (133% de nivel de aislamiento).
- Pantallas extruida sobre le conductor y pantalla electrostáticas sobre el aislamiento a base de alambres de cobre, calibre 20 AWG.
- Cubierta exterior de polietileno o PVC.
- Área transversal de 50 mm^2, 70 mm^2, 150 mm^2 o 240 mm^2.

Por último, hay que destacar que al aumentar el calibre de los conductores de la red actual, tendremos una mayor capacidad para suministrar la corriente demandada por cada una de las subestaciones derivadas de Ciudad Universitaria, con posibilidad de crecimiento; también tendremos una mayor confiabilidad, pues se presentarán menos fallas, y sobre todo una reducción de las pérdidas, pues como habíamos dicho anteriormente, al aumentar la sección transversal del conductor de corriente eléctrica, disminuye la resistencia y por lo tanto las pérdidas.

CONCLUSIONES

El sistema eléctrico de distribución en media tensión de Ciudad Universitaria, fue construido en 1952 y puesto en servicio en 1954, es decir, tiene 53 años en operación. A lo largo de este tiempo se han ido haciendo múltiples ampliaciones de la red eléctrica al ir aumentando la población y la cantidad de dependencias dentro de Ciudad Universitaria, como por ejemplo, las ampliaciones que se realizaron durante los juegos olímpicos de 1968 en el Estadio Olímpico. Desde un principio, la tensión de distribución era de 6 kV en todo el Campus Universitario; posteriormente, a partir de las ampliaciones de la zona cultural, se cuenta con dos tensiones de distribución en media tensión, 6 kV. y 23 kV. Tener una tensión de distribución de 6 kV., así como el envejecimiento y deterioro del equipo y las fallas en el sistema hace necesario replantear el sistema de distribución.

Debido a lo anterior, proponemos en esta tesis el aumento de la tensión de distribución, que conlleva el cambio de conductores y demás equipo, con el fin de satisfacer las necesidades energéticas futuras, esto también nos permitirá ampliar la zona de servicio de cada subestación, ya que a mayor tensión los alimentadores podrán construirse de mayor longitud con menores caídas de tensión. Al tener una estructura tipo anillo se da mayor confiabilidad al sistema, ya que en caso en caso de una falla el servicio puede ser reestablecido en menor tiempo, es por esto que proponemos que el punto abierto de los anillos se localice en base a una distribución equitativa de carga.

Nuestra propuesta de cambio de tensión se tomó a partir de estudios e investigaciones, llegándose a la conclusión de que para el Campus Universitario la tensión de distribución debe ser de 23 kV, que principalmente nos disminuye las pérdidas por efecto joule, ya que al manejar una tensión mucho mayor, tenemos más flujo de corriente, menos caídas de tensión y menos pérdidas. Haciendo una comparativa con un sistema con tensión de distribución de 6 kV.

Además, debemos tomar en cuenta que existen otras ventajas que se obtendrían con el cambio de tensión:

- Mayor confiabilidad en el sistema, lo que provoca menos interrupciones en el suministro de energía eléctrica y por tanto menos pérdidas en tiempo para las actividades administrativas, académicas y docentes que se llevan a cabo en Ciudad Universitaria
- Manejar una tensión en equipos y conductores que se encuentre dentro de normas actuales, ya que esto propicia mayor confiabilidad en el sistema.
- Renovar equipo de distribución que en este momento se encuentra muy obsoleto y para el cual ya no se encuentran fácilmente refacciones.
- Menor pérdida de tiempo y recursos en detección de fallas y arreglo de las mismas, ya que éstas disminuyen si contamos con un sistema de distribución eficiente.

En principio se observa claramente que el cambio de tensión implica el cambio del equipo de distribución subterráneo lo que conlleva al aumento de costos. En Ciudad Universitaria se tienen tendidos de cables por una longitud de aproximadamente 39 km, dichos conductores tendrían que ser reemplazados por los adecuados para la nueva tensión, por ello, proponemos implementar conductores con un área de sección transversal mayor según la norma LFC GDD-025 para Cables de 23 TC de LYFC. Para sistemas de distribución subterráneos en media tensión se tienen los calibres 50 mm^2, 70 mm^2, 150 mm^2 y 240 mm^2, nosotros proponemos el uso del calibre 240 mm^2 para los troncales y el de 70 mm^2 para circuitos derivados, con lo cual se incrementan los costos pero el porcentaje de regulación se reduce significativamente, con esto se tiene una planeación de tiempo de utilización mayor del sistema así como la capacidad de soportar futuros incrementos de carga.

Con esta propuesta de cambio de conductores observamos que aún sin cambio de tensión, las pérdidas para el circuito II de la Subestación General No. 2, disminuyen de 241 803.34 kW/hr a 76 312.98 kW/hr, es decir se puede tener un ahorro de 165 490.36 kW/hr, que representa el 31.55 %.

Durante el desarrollo del proyecto y a la par de este trabajo de tesis realizamos el cálculo de las pérdidas por efecto Joule, ya que son las más significativas. En los análisis globales que se realizaron por cada subestación general, pudimos observar que existen varios factores que influyen en mayor medida en las pérdidas, como son la longitud de los conductores, las demandas máximas, el factor de carga y el factor de coincidencia. De lo anterior, observamos que las pérdidas no varían mucho entre ambas subestaciones, a pesar de que la Subestación General No. 1 es mucho mayor en cuanto a número de cargas y área de servicio. Lo antes mencionado se debe en mayor medida a que la Subestación General No. 2, tiene una mayor utilización a lo largo del año. Esto se comprueba porque ésta última tiene cargas que no tienen tantos periodos de baja utilización, como lo son los institutos. Además, los conductores de los circuitos de la Subestación General No. 2 tienen mayores secciones transversales y menor longitud, es decir, la carga se encuentra más concentrada, lo que provoca que se tengan menos pérdidas de energía.

Al final del diagnóstico de la red, tenemos que las pérdidas anuales en 6 kV., tomando en cuenta las Subestaciones Generales No. 1 y 2, ascienden a 1054.229 MW/hr, siendo que en 23 kV se reducirían aproximadamente a 71.743 MW/hr, lo que nos refleja un ahorro de 982.486 MW/hr en un año. Considerando que los circuitos con el cambio de conductores se comportan de manera similar el circuito II, tendremos además un 31.55% de ahorro en pérdidas, esto se traduce en un ahorro total de 1 005.121 MW/hr.

Si suponemos un costo de $1.25 por kW/hr, tenemos que el ahorro que se proyecta en pérdidas es de $1 256.40 al año, lo que provoca que el cambio de tensión sea un proyecto viable.

- El costo de instalación por alimentador se incrementa un 30%
- La capacidad disponible para distribución aumenta un 400% aproximadamente.
- Se pueden satisfacer las demandas futuras por más de 20 años.
- Se incrementa la capacidad por alimentador con reserva para libramiento y emergencia hasta 9 000 kVA.

ANEXO I.
CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CONDUCTORES.

Para realizar los cálculos correspondientes a las pérdidas en conductores en todos los casos, utilizamos el procedimiento que a continuación se describe:

Para realizar el cálculo de las pérdidas que tenemos en este circuito, seguimos el siguiente procedimiento:

I. Las pérdidas en cada circuito fueron obtenidas a partir de la siguiente expresión:

$$P = R * Io^2$$

Donde: Io = Corriente promedio

P = Pérdidas

R = Resistencia del conductor

II. Para obtener la resistencia del conductor identificamos los tramos del conductor de acuerdo a los seccionadores que componen cada circuito, realizando su diagrama unifilar. Posteriormente establecimos las características físicas de cada tipo de conductor, de acuerdo a tablas de fabricantes y planos existentes: calibre, resistividad, longitud.

III. Para encontrar la corriente promedio utilizamos la expresión:

$$\mathbf{Io = Imáx * } \lambda^{1/2}$$

Donde: Imáx = Corriente máxima

λ = Factor de pérdidas

IV. La corriente máxima se obtuvo de la expresión:

$$\mathrm{Im}\acute{a}x = \frac{Dem.\,Med.}{\sqrt{3} * V * FP}$$

Donde: V = Tensión de la línea (6 kV)

FP = Factor de Potencia

Dem. Med. = Demanda Media

V. Sabemos que la tensión en la línea es de 6 kV y el factor de potencia para cada subestación derivada fue proporcionado por el PAE (Programa de Ahorro de la Energía).

VI. Para la demanda media se capturaron los datos diarios registrados por los operadores de cada subestación general, para cada circuito, en el periodo enero 2005 – diciembre 2005. Con dichos datos obtuvimos curvas de demanda diaria, promedio semanal, promedio mensual y promedio anual. Obtuvimos la demanda media utilizando un método numérico para el cálculo del área bajo cada una de las curvas de demanda.

VII. El factor de pérdidas puede calcularse con cualquiera de las siguientes expresiones:

$$\lambda 1 = 0.3Fc + 0.7Fc^2$$

$$\lambda 2 = 0.4Fc + 0.6Fc^2$$

Donde: Fc = Factor de carga

NOTA. Se tienen dos expresiones empíricas para el cálculo de las pérdidas, la primera se ha generalizado en Estados Unidos, y fue establecida por F. H. Buller y P. A. Wodrow; la segunda es más utilizada en sistemas europeos, en especial en Gran Bretaña.

VIII. Para obtener el factor de carga necesitamos utilizamos la siguiente expresion:

$$Fc = \text{Dem.media}/\text{Dem. Max}$$

IX. Los valores de demanda media y demanda máxima se obtuvieron de los datos capturados previamente.

X. Finalmente, los datos obtenidos fueron registrados en las tablas, obteniendo las pérdidas totales promedio por circuito en un día.

XI. Se realizó el mismo cálculo de pérdidas para una tensión propuesta de 23 kV.

XII. Se compararon las pérdidas diarias en cada caso y se proyectaron a un año

BIBLIOGRAFÍA

- A. THUE, William.
Electrical Power Cable Engineering.
Ed. Marcel Dekker, Inc.
New York.
2ª ed.
2003.

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

- ESPINOZA Y LARA, Roberto.
Sistemas de distribución.
Ed. Limusa
México
1990.

- ESPINOSA ARECHAR, Rogelio.
Breve estudio sobre la Subestación Principal de Ciudad Universitaria.
Tesis de Licenciatura, Ingeniero Mecánico-Electricista.
Facultad de Ingeniería.
1980.

- CÓRDOVA GASPAR, Rodolfo.
Diseño de la Subestación alimentadora No. 2 de Ciudad Universitaria.
Tesis de Licenciatura, Ingeniero Mecánico-Electricista.
Facultad de Ingeniería.
1984.

- SÁNCHEZ LOMELÍ, Claudio

Proyecto de iluminación y ampliación del sistema de sistema de distribución de energía eléctrica para la adaptación del Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria.

Tesis de Licenciatura, Ingeniero Mecánico-Electricista.

Facultad de Ingeniería, UNAM.

1968.

- SORIANO GUZMAN, Arcadio.

Operación en un sistema de redes de distribución en Media Tensión.

Facultad de Ingeniería, UNAM.

México.

2004.

- BECERRIL ROMERO, Rosalía.

Sistemas de distribución subterránea: red automática central del centro histórico de la Ciudad de México.

Facultad de Ingeniería, UNAM.

México.

2005.

- BECERRIL L., Diego Enésimo.

Instalaciones eléctricas prácticas.

Instituto Politécnico Nacional, IPN.

México, D. F.

6ª. Ed.

1973

- **Instalaciones Eléctricas en Mediana y Baja Tensión**.

José García Trasancos

Editorial Paraninfo.

España

1999

- **Manual Autodidáctico de Líneas Subterráneas.**

José Ramírez Vásquez.

Editorial CEAC.

España

1986

REFERENCIAS:

- **http://www.iiec.unam.mx/instituto/historia3.htm**
- **http://www.megawatt.com.pe/articulos/conector/con13disub.html**

ÍNDICE DE IMÁGENES

FIGURA	Pág.
1. Estadio de exhibición, ciudad universitaria.	5
2. Proyecto de conjunto, ciudad universitaria. Junio 1951.	6
3. Conductor con aislamiento XLPE o EPR.	23
4. Transformador trifásico tipo sumergible para distribución comercial.	37
5. Transformador trifásico tipo pedestal para distribución residencial.	38
6. Transformador trifásico tipo pedestal para distribución comercial.	38
7. Transformador monofásico tipo sumergible para distribución residencial.	39
8. Transformador monofásico tipo pedestal para distribución residencial.	39
9. Seccionador de transferencia automática tipo pedestal.	41
10. Seccionador tipo sumergible.	42
11. Seccionador tipo pedestal.	42
12. Terminal tipo termoretráctil MT.	43
13. Terminal premoldeada MT.	43
14. Terminal contráctil en frío MT.	44
15. Fusible LC de rango parcial.	44
16. Fusible LC de rango completo.	44
17. Sección de un cable subterráneo de energía.	47
18. Formas de conductores	51
19. (a) Conductor con aislamiento directamente extruído sobre el conductor. (b) Conductor con pantalla semiconductora sobre el conductor.	52
20. (a) Conductor sin pantalla semiconductora sobre el conductor. (b) Conductor con pantalla semiconductora sobre el conductor.	53
21. Esfuerzos eléctricos en: (a) cable sin pantalla sobre el aislamiento. (b) cable con pantalla sobre el aislamiento.	57
22. Clasificación de cables subterráneos multipolares.	61
23. Clasificación de cables subterráneos por tipo de campo.	62
24. Empalme contractil en frío MT.	65
25. Empalme termocontráctil MT.	65
26. Terminal contráctil en frío MT.	66
27. Terminal tipo termocontráctil MT.	67
28. Adaptador 200 para aterrizar pantallas.	68
29. Boquilla tipo pozo MT.	68
30. Boquilla tipo inserto MT-200-OCC.	69
31. Zanja.	70
32. Ductos.	71

FIGURA	Pág.
34. Trincheras.	72
35. Charolas.	73
36. Densidades de corriente en un mismo conductor, a) A corriente directa y b) A corriente de alta frecuencia.	76
37. Transformador tipo pozo.	84
38. Transformador tipo subestación en aire.	84
39. Transformador tipo pedestal.	84
40. Transformador tipo subestación.	85
41. Transformador tipo subestación.	85
42. Transformador tipo subestación.	85
43. Transformador tipo subestación.	86
44. Subestación compacta.	86
45. Porta fusibles y fusibles.	86
46. Cortacircuitos en aire.	87
47. Subestación compacta servicio interior.	87
48. Componentes internos.	87
49. Seccionador en aceite.	88
50. Cortacircuitos en aceite.	88
51. Conductor.	88
52. Banco de ductos.	89
53. Ubicación de la subestación general no. 1.	93
54. Plano alimentador “A”.	98
55. Plano alimentador “F”.	128
56. Plano alimentador “G”.	157
57. Plano alimentador “H”.	161
58. Plano alimentador “I”.	186
59. Plano alimentador “J”.	190
60. Ubicación de la subestación general No.2.	199
61. Plano circuito “I”.	204
62. Plano circuito “II”.	207
63. Plano circuito “III”.	213
64. Plano circuito “IV”.	216

DIAGRAMA	Pág.
1. Subestación principal no. 1. 1952	9
2. Subestación principal no. 2. 1981.	10
3. Red radial.	27
4. Red en paralelo.	28
5. Seccionamiento de una estructura radial.	29
6. Red en anillo con una sola fuente de alimentación.	29
7. Red en anillo cerrado.	30
8. Estructura en malla.	31
9. Estructura en doble derivación.	32
10. Red en derivación múltiple.	33
11. Estructura de alimentadores selectivos.	37
12. Diagrama unifilar de la Subestación General No. 1.	94
13. Acometida de la Subestación General No. 1.	95
14. Transformadores de la Subestación General No. 1	96
15. Alimentadores derivados de la Subestación General No. 1.	96
16. Diagrama unifilar del alimentador “A”.	98
17. Diagrama unifilar del alimentador “B”.	124
18. Diagrama unifilar del alimentador “C”.	125
19. Diagrama unifilar del alimentador “D”.	126
20. Diagrama unifilar del alimentador “E”.	127
21. Diagrama unifilar del alimentador “F”.	128
22. Diagrama unifilar del alimentador “G”.	156
23. Diagrama unifilar del alimentador “H”.	161
24. Diagrama unifilar del alimentador “I”.	186
25. Diagrama unifilar del alimentador “J”.	190
26. Diagrama unifilar del alimentador “K”.	194
27. Diagrama unifilar Subestación General No. 2.	200
28. Acometida Subestación General No. 2	201
29. Transformadores Subestación General No. 2	202
30. Alimentadores derivados Subestación General No. 2	202
31. Diagrama unifilar circuito “I”	203
32. Diagrama unifilar circuito “II”.	207
33. Diagrama unifilar circuito “III”.	212
34. Diagrama unifilar circuito “IV”.	216

TABLA	Pág.
1. Comparación de características entre cobre y aluminio. CONDUMEX	48
2. Clases de cableado. CONDUMEX	49
3. Comparativa de propiedades de compuestos para aislamientos de conductores. CONDUMEX	55
4. Clasificación de los cables.	59
5. Principales características de los cables de aislamiento seco. CONDUMEX.	63
6. Principales características de los cables de papel impregnado. CONDUMEX.	64
7. Subestaciones generales del sistema de distribución subterráneo de ciudad universitaria.	83
8. Capacidad total instalada de la Subestación General No. 1	97
9. Anillo 1 de la Subestación General No. 1	97
10. Capacidad total instalada alimentador “A”.	99
11. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “A”.	99
12. Demandas máximas individuales en el alimentador “A” para un día ordinario.	102
13. Curva de duración de carga en un día ordinario para el alimentador “A”.	108
14. Pérdidas en conductores del alimentador “a” para 6000 V.	104
15. Demandas máximas individuales en el alimentador “A” para un día extraordinario.	106
16. Pérdidas en conductores del alimentador “A” para 6000 V en un día extraordinario.	108
17. Demandas máximas individuales en el alimentador “A” en un año promedio.	116
18. Pérdidas en conductores del alimentador “A” para 6000 V en un año promedio.	113
19. Demandas máximas individuales en el alimentador “A” semanal.	117
20. Pérdidas en conductores del alimentador “A” para 6000 V en una semana.	118
21. Demandas máximas individuales anual en el alimentador “A”.	121
22. Pérdidas en conductores del alimentador “A” para 6000 V en un año.	123
23. Capacidad total instalada alimentador “B”.	124
24. Anillo II de la subestación general No. 1.	125
25. Capacidad total instalada alimentador “C”.	125
26. Capacidad total instalada alimentador “D”.	126
27. Anillo III de la Subestación General No. 1.	127
28. Capacidad total instalada alimentador “E”.	127
29. Capacidad total instalada alimentador “F”.	129
30. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “F”.	130

TABLA	Pág.
31. Demandas máximas individuales en el alimentador “F” para un día ordinario.	133
32. Pérdidas en conductores del alimentador “F” para 6000 V.	135
33. Demandas máximas individuales en el alimentador “F” para un día extraordinario.	138
34. Pérdidas en conductores del alimentador “F” para 6000 V. para un día extraordinario.	140
35. Demandas máximas individuales en el alimentador “F”.	143
36. Pérdidas en conductores del alimentador “F” para 6000 V.	145
37. Demandas máximas individuales en el alimentador “F” semanal.	148
38. Pérdidas en conductores del alimentador “F” para 6000 V semanal.	150
39. Demandas máximas individuales en el alimentador “F” anual.	153
40. Pérdidas en conductores del alimentador “F” para 6000 V anual.	155
41. Anillo IV de la subestación general No. 1.	156
42. Capacidad total instalada alimentador “G”.	157
43. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “G”.	158
44. Pérdidas en conductores del alimentador “G” para 6000 V anual.	160
45. Capacidad total instalada alimentador “H”.	162
46. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “H”.	163
47. Demandas máximas individuales en el alimentador “H” para un día ordinario.	165
48. Pérdidas en conductores del alimentador “H” para 6000 V.	167
49. Demandas máximas individuales en el alimentador “H” para un día extraordinario.	169
50. Pérdidas en conductores del alimentador “H” para 6000 V en un día extraordinario.	171
51. Demandas máximas promedio individuales en el alimentador “H” anual.	173
52. Pérdidas en conductores del alimentador “H” para 6000 V anual.	175
53. Demandas máximas individuales en el alimentador “H” semanal.	178
54. Pérdidas en conductores del alimentador “H” para 6000 V semanal.	179
55. Demandas máximas individuales en el alimentador “H” anual.	182
56. Pérdidas en conductores del alimentador “H” para 6 kV anual.	184
57. Anillo III de la subestación general No. 1	185
58. Capacidad total instalada alimentador “I”.	187
59. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “I”.	188
60. Pérdidas en conductores del alimentador “I” para 6000 V anual.	189

TABLA	Pág.
61. Capacidad total instalada alimentador “J”.	191
62. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “J”.	191
63. Pérdidas en conductores del alimentador “J” para 6000 V promedio anual.	192
64. Pérdidas en conductores del alimentador “J” para 6000 V anual.	193
65. Alimentador K de la subestación general No. 1.	194
66. Capacidad total instalada alimentador “K”.	194
67. Tramos y calibres de conductores en el alimentador “K”.	195
68. Pérdidas en conductores del alimentador “K” para 6000 V anual.	196
69. Comparativa sobre el cálculo de factores y análisis de demandas.	197
70. Capacidad total instalada de la Subestación General No. 2	203
71. Anillo I de la subestación general No. 2	203
72. Capacidad total instalada circuito “I”.	204
73. Tramos y calibres de conductores en el circuito “I”.	205
74. Pérdidas en conductores del circuito “I” para 6 Kv anual.	206
75. Capacidad total instalada circuito “II”.	208
76. Tramos y calibres de conductores en el circuito “II”.	209
77. Pérdidas en conductores del circuito “II” para 6000 V anual promedio.	210
78. Pérdidas en conductores del circuito “II” para 6000 V anual.	211
79. Anillo II de la Subestación General No. 2.	212
80. Capacidad total instalada circuito “III”.	213
81. Tramos y calibres de conductores en el circuito “III”.	214
82. Pérdidas en conductores del circuito “III” para 6 kV anual.	215
83. Capacidad total instalada circuito “IV”.	217
84. Tramos y calibres de conductores en el circuito “IV”.	217
85. Pérdidas en conductores del circuito “IV” para 6 kV anual.	219
86. Comparativa sobre el cálculo de factores y análisis de demandas.	220
87. Pérdidas por efecto joule en la subestación general No. 1.	224
88. Pérdidas por efecto joule en la subestación general No. 2.	224
89. Porcentaje de pérdidas anuales.	224
90. Cálculo de pérdidas a 23 kV en el alimentador “A”.	226
91. Porcentaje de ahorro de energía elevando la tensión de 6kV a 23kV.	226
92. Energía ahorrada con cambio de tensiones.	227
93. Porcentaje de pérdidas a una tensión de 23 kV.	227
94. Selección del calibre del conductor propuesta 1. Circuito II, Subestación General No. 2.	231
95. Selección del calibre del conductor, propuesta 2. Circuito II, Subestación General No. 2	232

96. Comparativa de la reducción de pérdidas con cambio de conductores y tensiones. 232

GRÁFICA **Pág.**

1. Curva de demanda de un día ordinario de actividades en el alimentador “A”. 100
2. Curva de duración de carga de un día ordinario de actividades en el alimentador “A”. 103
3. Curva de demanda de un día extraordinario de actividades del alimentador “A”. 105
4. Curva de duración de carga de un día extraordinario de actividades en el alimentador “A”. 108
5. Curva de demanda promedio diaria el alimentador “A”. 109
6. Curva de duración de carga durante una año promedio del alimentador “A”. 112
7. Curva de demanda semanal del alimentador “A”. 115
8. Curva de demanda anual del alimentador “A”. 119
9. Curva de demanda de un día ordinario de actividades del alimentador “F”. 131
10. Curva de duración de carga de un día ordinario de actividades del alimentador “F”. 134
11. Curva de demanda de un día extraordinario de actividades del alimentador “F”. 136
12. Curva de duración de carga de un día extraordinario de actividades en el alimentador “F”. 139
13. Curva de demanda promedio diaria durante un año del alimentador “F”. 141
14. Curva de duración de carga en el alimentador “F”. 144
15. Curva de demanda semanal del alimentador “F”. 146
16. Curva de demanda durante un año del alimentador “F”. 151
17. Curva de demanda promedio diaria durante un año del alimentador “G”. 159
18. Curva de demanda durante un año del alimentador “G”. 159
19. Curva de demanda de un día ordinario de actividades del alimentador “H”. 163
20. Curva de duración de carga de un día ordinario de actividades en el alimentador “H”. 166
21. Curva de demanda de un día extraordinario de actividades del alimentador “H”. 168
22. Curva de duración de carga de un día extraordinario de actividades en el alimentador “H”. 170
23. Curva de demanda promedio diaria anual del alimentador “H”. 172
24. Curva de demanda durante una semana del alimentador “H”. 176
25. Curva de demanda anual del alimentador “H”. 180
26. Curva de demanda promedio diaria anual del alimentador “I”. 188
27. Curva de demanda anual del alimentador “I”. 189

28. Curva de demanda promedio diaria anual del alimentador “J”. 192
29. Curva de demanda anual del alimentador “J”. 193
30. Curva de demanda promedio diaria anual del alimentador “K”. 195

GRÁFICA **Pág.**

31. Curva de demanda anual del alimentador “K”. 196
32. Curva de demanda promedio diaria durante un año del circuito “I”. 205
33. Curva de demanda anual del circuito “I”. 206
34. Curva de demanda promedio diaria durante un año del circuito “II” 209
35. Curva de demanda anual del circuito “II”. 211
36. Curva de demanda promedio diaria durante un año del circuito “III”. 214
37. Curva de demanda anual del circuito “III”. 215
38. Curva de demanda promedio diaria durante un año del circuito “IV”. 218
39. Curva de demanda anual del circuito “IV”. 218
40. Comparativa de la energía anual consumida entre tensiones. 228
41. Reducción de pérdidas. 233