



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN
UNIDADES HABITACIONALES TIPO VERTICAL
Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN SU
ALUMBRADO PÚBLICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:

**ALEJANDRO EMMANUEL VALDÉS URIBE.
RUBÉN SALAZAR OLIVARES.
ULISES BASILIO UGARTE.**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FERNANDO VALLEJO QUINTERO.



CIUDAD UNIVERSITARIA 2014.



Agradecimientos



-Índice-

Introducción	6
Objetivo	7
Justificación	7
Limitaciones y alcances	7
Método	7
Capítulo 1: UNIDADES HABITACIONALES	8
1.1 Unidades de vivienda	8
1.2 Clasificación de unidades habitacionales	13
1.3 Antecedentes de las unidades habitacionales	14
1.4 Estadística poblacional en el Distrito Federal y en las unidades habitacionales	17
Capítulo 2: CARACTERISTICAS DE LA CARGA	20
2.1 Clasificación de las cargas.....	21
2.2 Definiciones y consideraciones.....	24
2.3 Caso base	35
2.4 Determinación de carga instalada y demanda máxima por departamento	39
2.5 Determinación de carga instalada y demanda máxima para un edificio	40
Capítulo 3: EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	43
3.1 Sistemas de distribución.....	43
3.1.1 Tensiones normalizadas en el sistema de distribución.....	44
3.2 Estructuras fundamentales.....	44
3.2.1 Clasificación en cuanto a su operación	45
3.2.2 Clasificación en cuanto a su constitución	45
3.3 Conductores.....	53
Capítulo 4: DISEÑO ELECTRICO DE EDIFICIOS DE LA UNIDAD HABITACIONAL ...	55
4.1 Balance de carga.....	55
4.2 Método para la selección del calibre del conductor	57
4.2.1 Selección del calibre del conductor por capacidad de corriente.....	57
4.2.2 Verificación del calibre del conductor aplicando factores de corrección (agrupamiento y temperatura)	59
4.3 Caída de tensión	60
4.4 Protección contra sobrecarga.....	63



4.5	Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra	63
4.6	Canalizaciones.....	64
4.7	Selección de elementos eléctricos dentro de un edificio (circuitos derivados).....	66
4.7.1	Selección de elementos eléctricos circuitos derivados 1	67
4.7.2	Selección de elementos eléctricos circuitos derivados 2	74
4.7.3	Selección de elementos eléctricos servicios generales	79
4.7.4	Selección de elementos eléctricos alimentador de servicios generales.....	86

Capítulo 5: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACION EN ESTACIONAMIENTOS Y PASILLOS EXTERIORES 88

5.1	Zonas a alumbrar en la unidad habitacional	89
5.2	Antecedentes de alumbrado público	90
5.3	Funcionamiento y tipo de lámparas	91
5.4	Selección de lámparas en estacionamientos y pasillos exteriores.....	98
5.4.1	Iluminación en estacionamientos y pasillos	100
5.4.2	Ahorro de energía eléctrica	109
5.5	Instalación eléctrica del sistema de iluminación	111
5.5.1	Selección de elementos eléctricos circuitos derivados 2 y 3.....	112

Capítulo 6: DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA SUBTERRANEO..... 119

6.1	Instalación subterránea baja tensión	119
6.1.1	Circuito a un edificio	119
6.1.2	Circuitos para sistema de alumbrado	123
6.1.3	Selección de elementos eléctricos circuito alimentador para cuatro edificios	146
6.1.4	Selección de elementos eléctricos circuito alimentador para tres edificios e iluminación en estacionamientos y pasillos exteriores.....	149
6.2	Transformadores	150
6.2.1	Selección de transformadores	151
6.3	Instalación subterránea media tensión	151
6.4	6.3.1 Arreglo del sistema de distribución en media tensión	154
6.5	6.3.2 Selección de elementos eléctricos circuito troncal media tensión	154

Capítulo 7: SISTEMA DE TIERRAS.....162

7.1	Sistema de Puesta a Tierra	162
7.2	Objetivos y Clasificación de un Sistema	162
7.3	Elementos que Conforman un Sistema de Puesta a Tierra	163
7.4	Clasificación de electrodos.....	164
7.5	Resistividad de Suelos.....	168
7.6	Potenciales Peligrosos.....	169
7.7	Diseño del Sistema de Puesta a Tierras.....	172



Conclusiones	179
Apéndice A.....	181
Apéndice B	185
Referencias	188



Introducción

El Distrito Federal continúa con una tendencia acelerada hacia la urbanización, lo que ha representado un aumento progresivo del consumo eléctrico, obligando a establecer exigencias y especificaciones rigurosas, que garanticen la seguridad de las personas, el buen funcionamiento en las instalaciones, la fiabilidad y la calidad de los suministros de energía eléctrica.

El presente trabajo plantea el diseño del sistema de distribución y uso eficiente de energía eléctrica para una unidad habitacional tipo vertical. Está conformada por quince edificios y el sistema de alumbrado para estacionamientos y pasillos exteriores. El objetivo es que se cumpla con la normatividad en instalaciones eléctricas así como en los niveles de iluminancia para dichos espacios.

El conocimiento de la carga instalada es de gran utilidad para obtener el valor de la demanda máxima, parámetro base del diseño con el que se realizan cálculos de capacidad de conducción de los elementos de la red. Los parámetros más importantes de la carga, normalmente se obtiene de medición directa de potencia en redes ya operando, cuyas características son similares a las de la futura red. Existen gráficas que muestran el comportamiento de las cargas residenciales.

En base a dicho comportamiento, se realiza la estimación de la demanda máxima para dos tipos de departamentos. Una vez que se tiene conocimiento de las demandas de cada unidad de vivienda de acuerdo a su área, se determinan los elementos eléctricos de su instalación eléctrica (selección de conductores, protecciones, puesta a tierra y canalización). De forma similar se realiza para los servicios generales de un edificio.

El sistema de alumbrado tiene distinto comportamiento a la de una carga residencial. Puede estar funcionando hasta por doce horas. De tal manera que la correcta elección de elementos pueden contribuir al uso eficiente de energía. Se realiza un análisis concreto de las tecnologías de iluminación comúnmente instaladas. Después de una comparación entre las diferentes opciones, se plantea la instalación de lámparas de vapor de aditivos metálicos cerámicos. Esta propuesta debe ser eficiente, y que cumpla con las normas oficiales para alumbrado.

Así como en la carga de un edificio también en el sistema de alumbrado se definen los parámetros a considerar para los cálculos de su instalación eléctrica.

El despacho de la energía se hace en media tensión. De tal manera que se elige un sistema subterráneo en anillo abierto en media tensión que energiza a cuatro transformadores. Los transformadores a su vez energizan a los 15 edificios y al sistema de iluminación en estacionamientos y pasillos exteriores.

El comportamiento en conjunto de las demandas de los edificios y del sistema de alumbrado determina los parámetros para los equipos a instalar en el sistema subterráneo en media y baja tensión. Finalmente todos los equipos eléctricos permiten la distribución de la energía eléctrica hasta su uso final, los habitantes de cada unidad de vivienda.



Objetivo

Diseñar el Sistema de Distribución de Energía Eléctrica a Unidades Habitacionales tipo Vertical de una manera eficiente, confiable y segura.

Justificación

Debido al crecimiento de la población, la construcción de unidades habitacionales en el DF y área metropolitana ha ido en aumento, cifras del INEGI indican que aproximadamente el 25% de la población del Distrito Federal habita en unidades habitacionales, es por ello que es de suma importancia un diseño confiable en la instalación eléctrica de las mismas.

Limitaciones y alcances

La presente tesis se limita al diseño del sistema de distribución de energía eléctrica en una unidad habitacional tipo vertical ubicada en el Distrito Federal y a la propuesta de instalación de lámparas eficientes en estacionamientos y pasillos exteriores; sin embargo proporciona los parámetros necesarios que se deben contemplar para la realización del diseño eléctrico de cualquier unidad habitacional.

Método

Los cálculos para el diseño se efectuarán respetando las disposiciones reglamentarias de las normas técnicas para instalaciones eléctricas en México.

NOM-001-SEDE-2005. El objetivo de esta NOM es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones eléctricas, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para el usuario y sus propiedades.

NOM-013-ENER-2004. Tiene por objeto establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), con los que deben cumplir las nuevas instalaciones para alumbrado público y áreas exteriores.

El uso eficiente de la energía se aplica en la unidad habitacional, limitando el consumo eléctrico con la correcta selección de lámparas para el sistema de iluminación en exteriores.



CAPITULO 1

UNIDADES HABITACIONALES

Las unidades habitacionales son proyectos de vivienda construidos por organismos del sector público, la mayoría se localiza en el anillo intermedio y en la periferia del área metropolitana. Son bloques de apartamentos multifamiliares o de casas en hilera. También se define como el conjunto de viviendas con una nomenclatura común oficial, que comparten mismo espacio y tienen mismo origen.

1.1 Unidades de vivienda

Entendiendo que antes de hablar de una unidad habitacional se debe definir qué es una vivienda. La vivienda es el ámbito físico-espacial que presta el servicio para que las personas desarrollen sus funciones físicas vitales. Este concepto implica tanto el producto terminado como el producto parcial en proceso, que se realiza paulatinamente en función a las posibilidades económicas del usuario.

La vivienda de interés social es aquella que se ha producido dentro de un programa de otorgamiento de créditos, promovidos generalmente por instituciones del gobierno. En estos tiempos, es el tipo de vivienda que se está produciendo en mayor cantidad.

Las viviendas se pueden clasificar de acuerdo al número de familias que las habita, estructura, y/o la funcionalidad que se les pueda dar; a continuación se enlista algunas clasificaciones; sin embargo sólo nos enfocaremos a su estructura, entorno, número de viviendas y número de familias que las habita.

Clasificación de las viviendas de acuerdo a su estructura

Atendiendo a su estructura las viviendas podrán ser:

- Horizontal
- Vertical

- **Horizontal**

Se constituye en inmuebles con construcción horizontal donde el habitante tiene derecho de uso exclusivo de parte de un terreno y es propietario de la edificación establecida en el mismo, pudiendo compartir o no su estructura y medianería. Siendo titular de un derecho de copropiedad que podrá usar y disfrutar las áreas del terreno, construcciones e instalaciones destinadas al uso común.



Imagen 1.1. Vivienda tipo Horizontal, por Casas Geo: Tultitlán, Estado de México.

- **Vertical.**

La modalidad en la cual cada habitante es propietario exclusivo de un departamento, vivienda o local de un edificio, compartiendo muros, losas y techos y además es propietario en parte proporcional de sus elementos estructurales o partes comunes, así como del terreno e instalaciones de uso general.



Imagen 1.2. Vivienda tipo Vertical: Álvaro Obregón, D.F.

Clasificación por número de viviendas por lote y número de familias que las habita

Este tipo de vivienda puede ser definida como: Unifamiliar o Plurifamiliar.

a) Vivienda Unifamiliar

- Un nivel.
- Dos niveles (A pesar de que existen 2 niveles, estos pertenecen a una sola familia).

b) Vivienda Plurifamiliar

En este tipo cada familia tiene su propio departamento y de acuerdo a su estructura corresponde a la tipo vertical.

- Duplex
- Un nivel
- Dos niveles
- Cinco niveles
- Más de 5 niveles



Clasificación por entorno:

i. Unifamiliar.

- a) Aislada
- b) Pareada
- c) Adosa

ii. Bifamiliar.

- a) Dúplex.

iii. Multifamiliar.

i. Unifamiliar

Es aquella vivienda habitada por una única familia, de acuerdo a su entorno se divide en:

a) Aislada

Vivienda que no está en contacto físico con otras edificaciones. Normalmente están rodeadas por todos sus lados por un terreno perteneciente a la vivienda, en el que se suele instalar un jardín privado. En este aspecto hay variantes; así, la vivienda puede tener uno, varios o todos sus lados alineados con la vía pública.



Imagen 1.3. Vivienda rural aislada, Guanajuato. Imagen 1.4. Vivienda urbana aislada, Milpa Alta, D.F.

a) Pareada

En este caso, se construyen dos viviendas unifamiliares de dos niveles que exteriormente están en contacto, aunque en su distribución interior son totalmente independientes, teniendo cada una de ellas su propio acceso desde la vía pública.



Imagen 1.5. Vivienda tipo Pareada. Guerrero, México



Imagen 1.6. Vivienda tipo Pareada. Toluca, Estado de México

b) Adosa

Similar a la pareada, pero esta vez cada vivienda está en contacto con otras dos (una a cada lado). Este tipo de viviendas se suelen caracterizar por tener una planta estrecha y alargada y por la presencia de ventanas únicamente en los extremos de la casa. Su tipo de estructura es de manera horizontal. Estas viviendas suelen construirse dentro de las unidades habitacionales, por tanto son distribuidas de forma adosa.



Imagen 7. Vivienda Tipo Adosa. Tultitlán, Estado de México.

i. Bifamiliar

Se define como dos viviendas individuales, construidas sobre un mismo lote y cada vivienda corresponde a una familia; similar a la pareada donde en donde cada vivienda exteriormente está en contacto con otra, considerando su entorno se clasifican en:

a) Dúplex

En este caso dúplex se utiliza para enfatizar los dos niveles de la estructura, es decir una planta para cada familia. También construidas dentro de las unidades habitacionales.

El acceso para cada planta es de forma compartida con la vivienda que está en contacto horizontalmente con la otra; es decir, para la planta alta el acceso es mediante escaleras, las cuales sirven de acceso para las dos viviendas de la planta alta. Así mismo sucede para el acceso de ambas viviendas de la planta baja.



Imagen 8. Vivienda tipo Dúplex. Villa Coapa, D.F.

Imagen 9. Otra vista de vivienda Dúplex. Villa Coapa, D.F.

ii. Multifamiliar

Es un recinto donde unidades de vivienda superpuestas albergan un número determinado de familias, cuya convivencia no es una condición obligatoria. El espacio está bajo un régimen de condominio, con servicios y bienes compartidos; tales como:

- Circulación (escaleras y ascensores)
- Bajantes de basura
- Estacionamientos
- Acometidas de servicio.
- Áreas verdes y sociales (salón usos múltiples, piscina, canchas, jardines entre otros).

Estos pueden ser varios edificios distribuidos de manera horizontal. Por lo que ya forma parte de una unidad habitacional.

Este tipo de vivienda puede desarrollarse tanto en estructura vertical como en horizontal. Ésta está determinada por la demanda, el cliente y las características del terreno.



Imagen 1.10. Vivienda Multifamiliar Miguel Alemán. Colonia del Valle, México DF.

Condominios

Hoy en día, una de las alternativas más buscadas, son los condominios. Principalmente por su seguridad. Debido a que se encuentran dentro de un mismo predio, cercadas y con portones, para su ingreso y egreso, hace que las personas se sientan más tranquilas.



Un condominio es un conjunto de inmuebles, que residen dentro de un mismo lote conocido comúnmente como edificio. Cada persona comprará su casa, ya sea al contado o con crédito hipotecario.

Todo condominio cuenta con las siguientes áreas:

- Área privativa. Es aquella de propiedad exclusiva del condómino.
- Área común. Es aquella cuya propiedad es común al conjunto de condóminos, y que debe permanecer indivisa y de uso general para los mismos.
- Área común de uso restringido, que es aquella cuya propiedad es común a solamente una parte de los condóminos, conforme a las disposiciones establecidas al momento de la creación del condominio o modificadas por la asamblea de condóminos.

Atendiendo a su uso; podrán ser:

- a. Habitacional.- Son aquellos inmuebles en los que la unidad de propiedad privativa están destinadas a la vivienda.
- b. Comercial o de Servicios.- Son aquellos inmuebles en los que la unidad de propiedad privativa, es destinado a la actividad propia del comercio o servicio permitido.
- c. Industrial.- Son aquellos en donde la unidad de propiedad privativa, se destina a actividades permitidas propias del ramo.
- d. Mixtos.- Son aquellos en donde la unidad de propiedad privativa, se destina a dos o más usos de los señalados en los incisos anteriores.



Imagen 1.11. Condominio Mixto atendiendo a estructura y uso. Benito Juárez, D.F.

1.2 Clasificación de Unidades Habitacionales

Haciendo énfasis en la clasificación ya sea por estructura, número de habitantes u entorno, se clasifican de forma muy parecida a las viviendas, es por ello que no se volverá a especificar algunos conceptos antes descritos, sin embargo se hará referencia al tipo de estructura.

Las unidades habitacionales se conforman por diversas viviendas dentro de un mismo terreno, de tal manera que se presentan dos tipos de estructura, tanto verticales como horizontales; en conjunto tiene una clasificación tipo “mixta”.



En cuanto a la clasificación debido a su entorno, se pueden construir en formas adosa, dúplex y multifamiliar. Siendo motivo de estudio en este trabajo la agrupación de condominios distribuidos en forma mixta multifamiliar.

Las unidades habitacionales están relacionadas con el término “vivienda de interés social”.



Imagen 1.12. Unidad habitacional. Villa Coapa, D.F.

1.3 Antecedentes de las Unidades Habitacionales

La historia de los conjuntos habitacionales, como tipología de la vivienda, se remonta a los años treinta, pero fue después de la Segunda Guerra Mundial en las ciudades de países desarrollados, cuando una buena parte de la oferta de vivienda empezó a ser constituida por conjuntos que permitían aumentar la densidad de ocupación del suelo urbano, concentrar y proporcionar servicios y equipamiento, así como disminuir los tiempos y costos de construcción. De esta forma el conjunto habitacional comenzó a ser una componente fundamental de la estructura urbana y una alternativa de habitación conveniente para la moderna ciudad en expansión y desarrollo.

Si bien los conjuntos tuvieron en el paisaje urbano un peso visual y simbólico significativo, desde un comienzo fueron vinculados con el concepto de vivienda de interés social.

En México, el incremento demográfico iniciado en la década de los cuarenta planteó una gran demanda habitacional en las zonas urbanas. Así en 1947 se construye en el Distrito Federal la Unidad Habitacional Miguel Alemán, diseñada por el Arq. Mario Pani, la cual inicia una nueva etapa en la construcción de vivienda masiva, como respuesta a la demanda que imponía el crecimiento poblacional.



Imagen 1.13. Unidad Habitacional Miguel Alemán, ubicada en la delegación Benito Juárez colonia Del Valle.



Imagen 1.14. Conjunto Habitacional Tlatelolco

Otros conjuntos habitacionales que se construyeron en esa época, también diseños del Arq. Mario Pani, fueron las de Benito Juárez y Tlatelolco, que seguían los principios del suizo-francés Le Corbusier del estilo internacional o funcionalista, con departamentos de mínimo 80 m², con planta libre, la cual se podía adaptar según las necesidades de cada familia, una recámara grande, dos medianas o tres con dos de proporciones regulares y una chica de 1.50 m x 2.50 m. También se tenían áreas verdes y de proporciones considerables, dentro del mismo conjunto había servicios médicos, comercio de diversos tipos, oficinas postales, centros deportivos con canchas de básquetbol, vóleybol, tenis, albercas, auditorios, entre otros, rodeados de grandes avenidas, porque al interior solo eran vialidades locales con pocos espacios de estacionamiento.

A principios de los años setenta, con la creación de fondos especiales de vivienda para los trabajadores (INFONAVIT, FOVISSSTE, FOVIMI), se inició un período de gran impulso a la construcción de conjuntos habitacionales, los cuales se caracterizaron por alcanzar grandes dimensiones, contar con un importante equipamiento y diversas áreas de uso social y por localizarse principalmente en la periferia de la ciudad donde existía suelo suficiente.

El INFONAVIT tiene su origen y fundación como resultado de la evolución de los derechos de los trabajadores para adquirir una vivienda digna; como respuesta al Artículo 123, Fracción XII, Apartado A, donde se estableció la obligación de los patrones de proporcionar a los trabajadores habitaciones cómodas e higiénicas.

El 1° de mayo de 1971 las grandes centrales obreras demandaban ante el Ejecutivo Federal buscar vías para resolver los principales problemas nacionales, días después se integra la Comisión Nacional Tripartita a cuya quinta Subcomisión se le encomienda el estudio del problema de la vivienda (INFONAVIT, 2012). El resultado de los trabajos de los representantes de los tres sectores de esa Subcomisión propusieron reformas a la Fracción XII del Artículo 123 y la Ley Federal del Trabajo, así como la expedición de una ley para la creación de un organismo bajo el auspicio de los tres niveles de gobierno, se asigna al del Fondo Nacional de la Vivienda para manejar los recursos.

En 1970 el Presidente Luis Echeverría, presentó unas iniciativas de reformas a la Constitución y a la Ley Federal del Trabajo publicadas en el Diario Oficial el 14 de febrero de 1972, luego de ser aprobada, se promulga la Ley del INFONAVIT donde se establecen las aportaciones que el patrón haga a favor de sus trabajadores, le dan derecho a obtener un crédito para vivienda o a la devolución periódica del fondo que se constituya, denominado de ahorro. El 24 de abril de ese mismo año se publican en el Diario Oficial las reformas a la Ley Federal del Trabajo. La Asamblea Constitutiva del INFONAVIT se celebró el 1° de mayo del mismo año, período en el que la economía familiar ya no era tan abundante, el número de vehículos comenzó a incrementarse, por otro lado las dimensiones de las viviendas se reducen a 70-60 m² por vivienda, las cuales cuentan con cuarto destinado a cocina, otro de las mismas



dimensiones para lavado y tendido dentro del mismo apartamento o vivienda, baño con todos los muebles dentro del mismo espacio, dos o tres recamaras con espacio para closet de 3 x 3 m, la estancia en algunos casos es de más de 16 m².

Durante el período de 1970-1989 la economía del país se sostenía de la venta del petróleo, pero a su vez fue el tiempo de las grandes devaluaciones, lo cual provocó que el poder adquisitivo de una gran cantidad de población disminuyera, aumentando el nivel de pobreza, por lo que se iniciaron las grandes migraciones hacia las ciudades, por ello se dice que hacia el final del siglo XX casi la mitad de la humanidad vive en zonas urbanas.

A partir de los ochenta se registra una transformación en las características de los conjuntos habitacionales, debido a los cambios en la política habitacional, los cuales pueden ser:

- a) Una demanda insatisfecha de vivienda
- b) El agotamiento de las reservas de suelo en el DF
- c) La crisis y ciertas transformaciones estructurales en la economía del país

Surgieron entonces nuevos actores públicos en la Ciudad de México:

El 2 de abril de 1981 se publica en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se autoriza la creación del Fondo de Habitaciones Populares (FHP) con el objetivo fundamental de financiar la construcción y el mejoramiento de vivienda y conjuntos habitacionales populares.

En apoyo a los damnificados del sismo de 1985 se modificó el contrato constitutivo del FHP cuyo nombre cambio al de Fideicomiso Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO), el cual mantiene el objetivo inicial para el que fue creado.

También en apoyo a dichos damnificados se creó el FIVIDESU (Fideicomiso de Desarrollo Social y Urbano) y el FICAPRO (Fideicomiso Casa Popular).

Así la nueva vivienda de interés social continuó ofreciéndose en conjuntos, pero éstos disminuyeron el número de unidades que concentraban, la superficie de éstas y, en algunos casos, la calidad. También se redujo el espacio para uso social y el equipamiento que se proporcionaba a los usuarios.

A partir de los noventa, período neoliberal, durante el gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari, cambia la política económica para el país, uno de los cambios fue darle la batuta y dirección de la vivienda social a los grandes capitales, aunado al cambio del artículo 27 constitucional, a los cuales se les ofertan o buscan terrenos ejidales, en las periferias de las ciudades en donde el costo del suelo es bajo.

Lo que se transforma en grandes conjuntos con dimensiones mínimas tanto internas como externas, en espacios de 30-35 m² para que habiten 4 personas o más, quedando separadas por vialidades de 9m, algunas veces con banquetas de 0.90 m y un frente de casa de 4.5 m a 3.3 m en promedio.

Actualmente las Unidades Habitacionales se diseñan reduciendo las áreas de circulación y por tanto las posibilidades de privacidad entre una vivienda y otra, como por ejemplo la unidad Plateros o Villa Coapa, los cuales presentan extensiones más grandes para dejar los autos en lugares tipo islas, aunque no a pie del edificio, sino cercano a ellos por que dividen las vialidades de las entradas a los edificios por áreas verdes o recreativas.



Como se puede apreciar, a lo largo del tiempo los conjuntos habitacionales se han ido modificando, cambiado sus dimensiones (número de viviendas), el equipamiento con el que cuentan, el tipo de vivienda que se utiliza, e incluso su localización en la ciudad.

1.4 Estadística poblacional en el Distrito Federal y en las Unidades Habitacionales

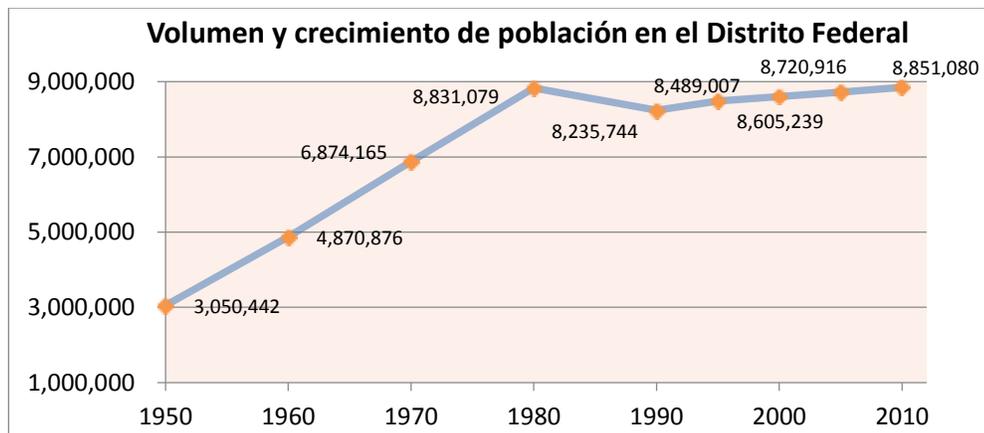
Para hacer un análisis de la carga eléctrica es necesario realizar un estudio socioeconómico, en el cual se determinara aproximadamente la cantidad de personas que habitan en una unidad, vivienda o edificio. Teniendo estos datos se podrá hacer una estimación del consumo promedio de una familia considerando aspectos como la edad, género y ocupación. Haciendo un breve resumen de la población, su comportamiento, incremento y decremento a lo largo de los años en el desarrollo de viviendas localizadas dentro del Distrito Federal tenemos representadas las siguientes tablas y gráficas.

En la Tabla 1.1 se muestra el crecimiento de la población en el D.F. en los últimos 60 años, observando que de los ochenta a noventas hay una variación considerable, ya que decrece la población.

Volumen y crecimiento de población en el Distrito Federal									
AÑO	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010
HABITANTES	3,050,442	4,870,876	6,874,165	8,831,079	8,235,744	8,489,007	8,605,239	8,720,916	8,851,080

Tabla 1.1. Censo poblacional de los últimos 60 años realizada por el INEGI hasta el 2010

A continuación podemos observar en la Gráfica 1.1, la curva de incremento y decremento de la población en los últimos 60 años en base a los datos anteriores.



Gráfica 1.1. Curva representativa del incremento y decremento de la población que habito en el DF en los últimos 60 años.



Gráfica 1.2. Gráfica representativa de habitantes por delegación dentro del DF año 2010.

Hacia la década de 1980, el Distrito Federal era la entidad más poblada de México. Tras el sismo de 1985, buena parte de la población de las delegaciones más afectadas se fue a residir a las delegaciones del sur del D.F. En 1990, la mancha urbana de la ciudad ocupaba una superficie mayor que en el censo anterior. A partir de entonces, el D.F. como entidad federativa ha dejado de ser la entidad más poblada de México.

En base estudios realizados por el INEGI hasta el 2010 se tiene la siguiente distribución de población por delegación en el D.F., se ve reflejada en la Gráfica 1.2, recordando que la población total es de 8, 851,080. Se puede notar que la delegación más poblada es Iztapalapa con un número aproximado de 1, 857,786 habitantes.

En las Tablas 1.2 y 1.3 realizada por el INEGI en el 2010, se muestra el número de viviendas (departamentos y casas), así como el número de habitantes en el DF; se aprecia que el 90 % de las viviendas totales son particulares y el 30.8 % de las particulares son departamentos en edificios.

De acuerdo con el Padrón de Unidades Habitacionales de la Procuraduría Social del Distrito Federal en la Ciudad de México existen 7, 233 Unidades Habitacionales, con más de 582 mil viviendas y una población aproximada de 2.2 millones, el mayor número de unidades habitacionales se ubicarían en las Delegaciones Cuauhtémoc (27%), Miguel Hidalgo (26%), Venustiano Carranza (14%) y Azcapotzalco (10%), sin embargo considerando el número de viviendas, las de mayor concentración se presenta en Iztapalapa (24%), Gustavo A. Madero (12%), Azcapotzalco (10%), Coyoacán (10%) y Cuauhtémoc (10%), por lo que se estima que uno de cada cuatro habitantes del Distrito Federal viven en Unidad Habitacional.



Vivienda en el DF	
Total de viviendas	2,651,783.33
Viviendas Propias	2,386,605.00
Departamentos en edificios	735,074.34

Tabla 1.2. Estadística según INEGI 2010

HABITANTES EN EL DF	8,851,080
UNIDADES HABITACIONALES EN EL DF	7,233
HABITANTES EN UNIDADES HABITACIONALES	2,212,770

Tabla 1.3. Estadística según INEGI 2010

En cuanto a su periodo de construcción, el 29% se construyó entre 1980 y 1989, el 25% entre 1990 y 1999, otro 25% del 2000 al 2008, sin embargo, 79 unidades, que representan el 2% del total, se edificaron entre 1940 y 1949; 154 Unidades entre 1950 y 1959, que corresponden al 5%; y 408 Unidades, entre 1970 y 1979, que representan el 10% del total.



Gráfica 1.3. Muestra edad, sexo y población en el Distrito Federal.

La Gráfica 1.3 muestra en porcentaje la edad y sexo de la población que habita en el DF, dicha estadística fue realizada por el INEGI en el año 2010.

Hablando específicamente de las Unidades Habitacionales se conoce que en ellas viven 646 mil hombres y 724 mil mujeres, que representan el 47% y el 53% respectivamente de la población total de las unidades habitacionales estudiadas.



CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DE LA CARGA

El propósito principal de un sistema de distribución es llevar la energía del sistema de potencia o fuente, al usuario. El diseñador de un sistema eléctrico de distribución, tiene bastante libertad para seleccionar los componentes del sistema; sin embargo, el factor más importante, que es la carga, es un parámetro independiente del diseñador y casi siempre es muy poco el control que se puede tener sobre ella.

Las cargas eléctricas son el punto de partida para resolver un gran número de problemas complejos relacionados con el proyecto y la ejecución de redes de distribución. La determinación de las cargas es la primera etapa en el proyecto de cualquier sistema de distribución de energía eléctrica, ya que con base en ellas se realizan las siguientes actividades:

- a. Se seleccionan y comprueban los elementos conductores y transformadores por calentamiento e índices económicos.
- b. Se calcula la posible variación de voltaje en la instalación eléctrica.
- c. Se determina la caída de tensión.
- d. Se seleccionan los dispositivos de compensación de potencia reactiva.
- e. Se establecen los sistemas de protección necesarios.

De la estimación correcta de las cargas eléctricas esperadas depende la racionalidad del esquema seleccionado y de todos los elementos del sistema de electrificación, así como sus índices técnico-económicos. Los principales efectos económicos se reflejan en el capital invertido, los gastos anuales totales, los gastos específicos, los gastos en conductores y las pérdidas de energía eléctrica.

Si se considera una carga mayor de la que se tiene en realidad, todo el sistema se sobredimensiona, lo que ocasiona una inversión mayor y en algunos casos, mayores pérdidas de energía. Si se considera una carga inferior a la real, el equipo se sobrecargará, teniendo pérdidas excesivas de energía y una posible reducción de la vida útil.

El conocimiento de la carga sirve para predecir el valor de la demanda máxima, parámetro base del diseño, con el que se realizan cálculos de regulación y de capacidad de conducción de los elementos de la red. El conocimiento de los parámetros más importantes de la carga, normalmente se obtiene de medición directa de la potencia de redes ya operando, cuyas características son similares a las de la futura red. Es por esto que el conocimiento de los parámetros de la carga es de primordial importancia para lograr un diseño en el que se haga una utilización racional de los recursos materiales, así como de que se asegure una operación satisfactoria de la misma.

Generalmente el problema involucra a diferentes usuarios, en los que la utilización de la energía no se realiza en forma similar, debido a los diferentes hábitos, y porque los equipos eléctricos que tienen no son iguales. El conocimiento de las características de la carga, pretende determinar su efecto en el diseño de la red de distribución. Esta red eléctrica puede ser la de un fraccionamiento habitacional, la de un edificio, la de una fábrica, etc.



2.1 Clasificación de las Cargas

Se consideran diversos criterios para la clasificación de las cargas, los cuales destacan:

- a) Localización Geográfica
- b) Tipo de utilización de energía.
- c) Dependencia de la energía eléctrica (confiabilidad).
- d) Efecto de la carga en el sistema de distribución (ciclo de las cargas).
- e) Tarifas.
- f) Especiales.

a) Localización geográfica.

La carga de cada usuario se clasificará de acuerdo a su localización geográfica, destacando peculiaridades típicas de cada zona, como puede ser su densidad de carga, que corresponde a la capacidad instalada en una zona por km^2 , es decir, VA/Km^2 . Así, por ejemplo, en la zona urbana central de cualquier ciudad se tendrá una elevada densidad de carga, con consumidores constituidos por edificios de oficinas y comercios; mientras que en una zona urbana normal habrá densidades de carga, predominando las cargas de tipo residencial. Sin embargo, hay algunas zonas que originan cargas de valor elevado con cargas de tipo industrial medio. En la Tabla 2.1 se muestran algunos valores de densidades de carga características por zona.

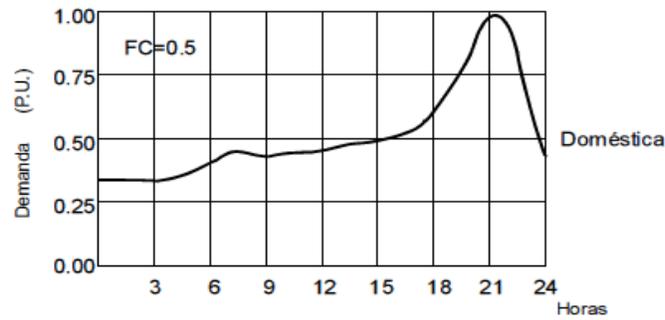
<i>Zonas</i>	<i>densidad [MVA/Km]²</i>
Urbana central	40-100
Urbana	5-40
Semiurbana	3-5
Rural	<3

Tabla 2.1. Densidades típicas por zona.

b) Tipo de utilización de la energía

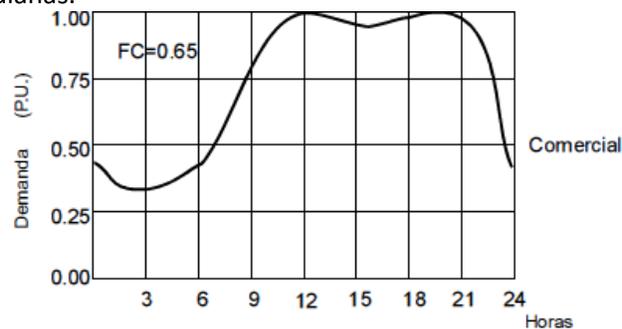
Las aplicaciones que da el usuario al consumo de energía eléctrica pueden servir como parámetros para clasificar las cargas; así, de éstas se tienen, por ejemplo:

- Cargas residenciales: Urbana, suburbana y rural. La carga residencial tiene la menor densidad respecto a la carga comercial e industrial y decrece de la urbana a la rural, de tal forma que resulta poco económica la electrificación rural. Aunque se justifica desde el punto de vista social. Las cargas residenciales se caracterizan por ser de baja tensión, poca potencia y, en la mayoría de los casos, monofásicas.



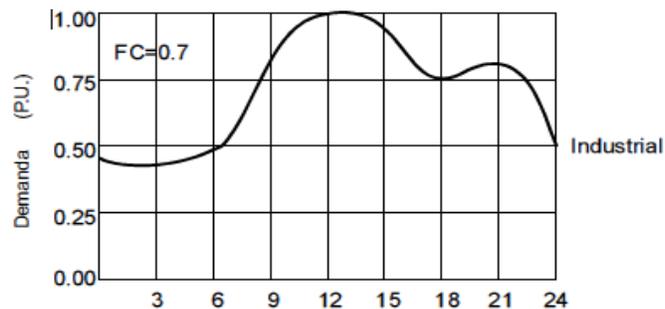
Gráfica 2.1. Curva característica de carga residencial

- Cargas comerciales: Aéreas céntricas, centros comerciales y edificios comerciales. Las densidades de carga en estos casos son mayores. Estas cargas normalmente son trifásicas y de potencias medianas.



Gráfica 2.2. Curva característica de la carga comercial.

- Cargas Industriales: Pequeñas industrias y grandes industrias. Algunas veces la carga industrial se incluye en las cargas comerciales. La carga industrial en general puede tener grandes potencias y contratar el servicio en media y alta tensión, como 23 [kV] y 115 [kV] o más.



Gráfica 2.3. Curva característica de la carga industrial.

c) Dependencia de la energía eléctrica (confiabilidad)

Considerando los perjuicios que pueden causar las interrupciones de energía eléctrica en las cargas, es posible clasificar éstas en:

- Sensibles
- Semisensibles
- Normales
- Sensibles



Se entiende por cargas sensibles aquéllas en que una interrupción de alimentación de energía eléctrica, aunque sea momentánea, causa perjuicios considerables; por ejemplo, los Hospitales, el Sistema de Transporte Colectivo Metro, fábricas en las cuales, debido a sus procesos si se presenta una interrupción en la alimentación eléctrica existirán pérdidas en producción o pérdidas humanas.

- **Semisensibles**

Se consideran cargas semisensibles aquéllas en que una interrupción de energía durante corto tiempo, no mayor de 10 minutos, no causa grandes problemas en la producción o servicios en general. Ejemplo de estas cargas se pueden mencionar a los pequeños comercios.

- **Normales**

Finalmente, cargas normales son aquéllas en que una interrupción en un tiempo más o menos largo ($1[h] \leq t \leq 3[h]$) no causa mayores perjuicios a la producción o al servicio. Como ejemplo podemos considerar a las cargas residenciales.

Cuando hay necesidad de desconectar carga por contingencias dentro del sistema, se recurre en primer término a los usuarios con cargas normales, aunque a veces también se afectan cargas semisensibles y sensibles, por la dificultad de separarlas.

d) Efecto de la carga en el sistema de distribución y ciclo de trabajo de las cargas

Conforme al ciclo de trabajo, las cargas se pueden clasificar en:

- Transitorias cíclicas
- Transitorias acíclicas
- Normales

Las transitorias cíclicas son aquellas que no funcionan continuamente y efectúan un ciclo de trabajo periódico. Las transitorias acíclicas tampoco funcionan continuamente pero tienen un ciclo de trabajo no periódico. Mientras que las normales trabajan continuamente.

La existencia de cargas transitorias impone soluciones más elaboradas, en especial tratándose de cargas de gran potencia, ya que ocasionan perturbaciones o transitorios en el sistema y deben evitarse.

e) Tarifas

Otro criterio de clasificación es la tarifa eléctrica o la manera de cobro por el consumo de la energía que se suministra y se clasifican en:

- Específicas. Son aquellas que se aplican a los suministros de energía eléctrica para los propósitos que los mismos señalan
- Generales. Son aquellas que se aplican a cualquier servicio eléctrico, exceptuando los específicos antes señalados
- De Respaldo. Son aquellas que se aplican para el servicio de respaldo en M.T. y A.T.

Algunas de estas tarifas ofrecen energía a bajo costo para estimular la economía y para ayudar a la población que habita en zonas del país con temperaturas medias en verano



mayores a 25[°C]; como ejemplos la Tarifa 9, que está destinada para el bombeo de riego agrícola y la Tarifa 1 con sus derivaciones; respectivamente.

Al distribuir la energía eléctrica en media tensión CFE simplifica su red de distribución, es decir, se reduce el número de transformadores y de líneas, por esta razón la tarifa es más barata en media tensión.

f) Especiales

Dentro de las cargas especiales se distinguen las que introducen asimetrías al sistema y lo desequilibran, por ejemplo: hornos eléctricos, o cualquier equipo electrónico de alta tecnología.

También se pueden considerar especiales las cargas grandes cuya alimentación altera las condiciones de funcionamiento de un sistema, como el Sistema de Transporte Colectivo (Metro), los centros petroquímicos, etc.

2.2 Definiciones y Consideraciones

Hasta este momento se ha hablado de la carga eléctrica, sin que se halla dado una definición de este concepto, ahora es conveniente hacer un alto en el desarrollo de este trabajo y preguntar: ¿Qué es la **carga eléctrica**? Carga eléctrica es la potencia o corriente demandada por conjunto de dispositivos o aparatos, conectados a un sistema eléctrico.

El hecho de que se haya definido a la carga en función de la potencia, se presta a preguntarse. ¿Qué clase de potencia es de la que se habla? En ingeniería eléctrica de distribución existen algunos términos que explican claramente las relaciones de cantidades eléctricas que pueden ayudar a precisar las características de la carga de una manera sencilla, así mismo, estas relaciones son útiles para determinar los efectos que la carga puede causar en el sistema. A continuación se presenta una breve definición de las relaciones más importantes y útiles para el diseño de un sistema de distribución.

Potencia activa (P): Normalmente de la potencia eléctrica que representa la razón a la cual el trabajo se efectúa en un circuito eléctrico en un determinado tiempo, capaz de desarrollar un trabajo útil o disipar calor, lo cual se conoce como potencia activa.

$$P = V * I * \cos\theta \text{ [W]} \quad (2.1)$$

donde:

V = Diferencia de potencia o tensión eléctrica.

I = Corriente eléctrica.

cosθ = Factor de potencia.

Potencia reactiva (Q): La potencia Reactiva es una medición de la energía que la fuente entrega a un elemento reactivo con una señal senoidal en estado estable. Para una inductancia la potencia reactiva es positiva (+) y para una capacitancia la potencia reactiva es negativa (-). La potencia reactiva para un circuito que contiene varias inductancias y capacitancias es la suma de las potencias reactivas de cada uno. Es por eso que las potencias reactivas de las inductancias y capacitancias tienden a cancelarse. Para un circuito puramente inductivo la corriente esta en atraso al voltaje en 90°, mientras que en un circuito capacitivo la corriente se adelanta al voltaje en 90°. La potencia reactiva es un número complejo, que contiene información acerca del flujo de la potencia en tiempo promediado y del traslado de energía prestada entre la fuente y la carga en un circuito de Corriente alterna (C.A.). Sus unidades son [kVAR] o [MVAR], se calcula como:



$$Q = V * I * \text{sen}\theta \text{ [VAR]} \quad (2.2)$$

donde:

V = Diferencia de potencia o tensión eléctrica.

I = Corriente eléctrica.

sen θ = θ es el ángulo obtenido a partir del factor de potencia.

Potencia aparente forma compleja(S): La suma compleja de las potencias real y reactiva se llama potencia compleja. Sus unidades son [VA] y se establece como:

$$\underline{S} = P + jQ \text{ [VA]} \quad (2.3)$$

donde:

P = Potencia activa o potencia real.

Q = Potencia reactiva.

La potencia compleja es un número complejo y contiene información acerca del flujo de la potencia del tiempo promediado y del traslado de energía prestada entre la fuente y la carga en un circuito de corriente alterna.

Potencia aparente (S): La magnitud de la potencia compleja $S = |\underline{S}|$ se llama potencia aparente, la cual se obtiene cuando se mide el voltaje y la corriente con multímetros y se multiplica estos valores sin importar la fase.

$$S = |V||I||\cos\theta| \text{ [VA]} \quad (2.4)$$

donde:

|V| = Magnitud de tensión eléctrica

|I| = Magnitud de corriente eléctrica

$|\cos\theta| = \cos^{-1}(\theta)$, θ ángulo obtenido a partir del factor de potencia

La potencia aparente es importante como una medida de los límites de operación en equipo eléctrico como transformadores, motores y generadores sus unidades son [kVA] o [MVA], se calcula como:

$$|S| = \sqrt{P^2 + jQ^2} \text{ [VA]} \quad (2.5)$$

Triángulo de potencia y Factor de Potencia (FP): El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de ver y comprender de forma gráfica que es el factor de potencias o $\cos(\varphi)$ o $\cos(\theta)$ y su estrecha relación con los restantes tipos de potencias presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna.



Imagen 2.1. Triángulo de Potencia

Como se podrá observar en la Imagen 2.1, el FP o $\cos\varphi$, representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la Potencia activa (P), y la Potencia aparente (S), es decir, la relación entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado



a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación se puede representar también de forma algebraica por medio de la ecuación (2.6):

$$FP = \cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (2.6)$$

donde:

$$\varphi = \alpha + \beta:$$

α = ángulo de la tensión.

β = ángulo de la corriente.

El resultado de esta operación será igual a 1 o un número fraccionario menor a este. Lo ideal sería que el resultado fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejor optimización, aprovechamiento del consumo de la energía eléctrica lo que implicaría menores pérdidas de energía y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores.

El FP se define como la relación de la potencia activa y la potencia aparente.

Potencia a 3 fases: Durante el presente trabajo se utilizan potencias a una, dos y tres fases. Es conveniente deducirlas:

A partir de un sistema a tres fases (ABC) se tiene que la suma de las potencias por fase será igual a la potencia a tres fases:

$$S_{3\phi} = S_A + S_B + S_C \text{ [VA]} \quad (2.7)$$

Si el sistema es balanceado entonces:

$$S_A = S_B = S_C$$

Por lo tanto:

$$S_{3\phi} = 3S_A \text{ [VA]} \quad (2.7.1)$$

De la tensión entre fase y neutro y corriente de línea se obtiene:

$$S_{3\phi} = 3 * V_{FN} * I_{Línea} \text{ [VA]} \quad (2.7.2)$$

Para una tensión entre fases a partir de una fase, es decir:

$$V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \text{ [V]}$$

Sustituyendo en 2.7.2 y multiplicando por $\sqrt{3}/\sqrt{3}$ se tiene:

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{FF} * I_{Línea} \text{ [VA]} \quad (2.7.4)$$

Potencia a 2 fases: Para un sistema a dos fases sólo se tiene:

$$S_{2\phi} = V_{FF} * I_{Línea} \text{ [VA]} \quad (2.7.5)$$

Potencia a 1 fase: Para un sistema a una fase sólo se tiene:

$$S_{1\phi} = V_{FN} * I_F \text{ [VA]} \quad (2.7.6)$$

Consumo: Se define como la cantidad de energía que se utiliza durante un período de tiempo determinado y se mide en kilowatt-hora (kWh).



El kilowatt-hora representa la potencia eléctrica de un kilowatt actuando en un intervalo de una hora; éste representa una medida del trabajo total que realiza un circuito eléctrico. Si, por ejemplo, el circuito entrega 60 [kW] en un minuto esa misma cantidad de trabajo realizará un kilowatt-hora, es decir:

$$1 [kWh] = 60 [kW] \times \frac{1}{60} [h]$$

Demanda: La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras tomada en un valor medio en determinado intervalo. En esta definición se entiende por carga la que se mide en términos de potencia (aparente, activa, reactiva) o de intensidad de corriente. El periodo durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalo de demanda y es establecido por la aplicación específica que se considere, la cual se puede determinar por la constante térmica de los aparatos o por la duración de la carga.



Gráfica 2.4. Gráfica de Demanda promedio en México.

Los intervalos en los que usualmente se mide la demanda son de 15, 30 o 60 minutos. Los intervalos de 15 o 30 minutos se aplican por lo general para facturación o determinación de capacidad de equipo.

Demanda máxima: La Demanda Máxima (D_m) es la mayor de las demandas de una instalación o sistema ocurridas durante un período de estudio especificado, por ejemplo: un día, un mes o un año. La declaración de demanda máxima debe indicar también el intervalo de demanda usado.

El conocimiento de la demanda máxima de un grupo de cargas y su efecto combinado en el sistema eléctrico es también de gran importancia, dado que la demanda del grupo determinará la capacidad que requiere el sistema. De igual modo, la demanda máxima combinada de un grupo pequeño de consumidores determinará la capacidad del transformador que se requiere; así, las cargas que alimentan un grupo de transformadores dan por resultado una demanda máxima, la cual determinará el calibre del conductor y la capacidad del interruptor o del regulador que formen parte de un alimentador primario. La máxima demanda combinada de un grupo de alimentadores primarios determinará la capacidad de la subestación hasta llegar a determinar consecuentemente la capacidad de generación para todo el sistema.



Como se puede observar, en todos los casos de la determinación de la demanda máxima es de vital importancia ya que representa el caso más crítico; si no se pueden obtener medidas precisas de la demanda es necesario estimar su valor de la mejor manera posible para poder usar esos datos en el proceso de planeación del sistema.

Carga conectada o capacidad instalada: La carga conectada es la suma de los valores nominales de todas las cargas. La carga conectada se puede referir tanto a una parte como al total del sistema y se puede expresar en Watts, kilowatts, Amperes, HP, kVA, etc., dependiendo de las necesidades o requerimientos del estudio.

Si por ejemplo, un consumidor tiene una carga conectada que consiste en:

CONCEPTO	CANTIDAD	CARGA POR CONCEPTO[kW]	SUBTOTAL[kW]
Lámpara para interiores	20	.1	2.0
Lámpara para exteriores	30	.250	7.5
Motor	1	59.680	59.680
TOTAL			69.2

Para dejar expresada la carga conectada en KVA, los KW se deberá convertir, dividiendo su valor entre el factor de potencia del sistema. Por ejemplo, si el factor de potencia es de 0.9:

$$Carga\ conectada = \frac{69.2}{0.9} = 76.88 [kVA]$$

Factor de Demanda: El Factor de Demanda (Fd) en un intervalo de tiempo determinado es la relación entre la demanda máxima en el intervalo considerado y la carga total conectada o instalada. Algebraicamente se representa de la siguiente forma:

$$Fd = \frac{Dms}{Pins} (2.8)$$

donde:

Fd=Factor de Demanda.

Dms= Demanda máxima del sistema en un intervalo dado.

Pins= Carga total instalada en el sistema.

El Factor de Demanda (Fd) de un sistema, o parte de él, determina el porcentaje de la carga conectada que está siendo alimentada al ocurrir la demanda máxima correspondiente.

Aunque el Factor de Demanda puede aplicarse a un sistema completo, usualmente es aplicable a la acometida de un cliente que puede ser industrial, comercial o residencial.

La Tabla 2.5 siguiente nos muestra los factores de demanda de cargas de alumbrado los cuales deben aplicarse a la parte de la carga total calculada para el alumbrado general.



Tipo de inmueble	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (voltamperes)	Factor de demanda (%)
Almacenes	Primeros 12 500 o menos	100
	A partir de 12 500	50
Hospitales*	Primeros 50 000 o menos	40
	A partir de 50 000	20
Hoteles y moteles, incluyendo los apartamentos sin cocina para los inquilinos*	Primeros 20 000 o menos	50
	De 20 001 a 100 000	40
	A partir de 1 00000	30
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120 000	35
	A partir de 120 000	25
Todos los demás	voltamperes totales	100

* Los factores de demanda de esta Tabla no se deben aplicar a la carga calculada de los alimentadores que dan suministro a las zonas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar todo el alumbrado al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile.

Tabla 2.2. Factores de demanda de cargas de alumbrado, NOM 001 SEDE 2012

En la Tabla 2.6 se muestran los factores de demanda, de acuerdo al número de viviendas.

Número de viviendas	Factor de demanda [%]
3 – 5	45
6 – 7	44
8 – 10	43
11	42
12 - 13	41
14 -15	40
16 -17	39
18 - 20	38
21	37
22 - 23	36
24 - 25	35
26 - 27	34
28 - 30	33
31	32
32 - 33	31
34 - 36	30
37 - 38	29
39 - 42	28
43 - 45	27
46 - 50	26
51 -55	25
56 - 61	24
De 62 en adelante	23

Tabla 2.3. Factores de demanda en viviendas multifamiliar. NOM-001-SEDE-2012.



Factor de carga: El factor de carga se puede definir como la relación entre la demanda media D_m y la demanda máxima D_{ms} en un intervalo de tiempo dado; el factor de carga se calcula entonces dividiendo los kW promedio (potencia promedio) entre los kW de demanda máxima.

$$F_c = \frac{D_m}{D_{ms}} \quad (2.9)$$

donde:

F_c =Factor de Carga.

D_m =Demanda promedio en el intervalo.

D_{ms} = Demanda máxima en el intervalo.

Ejemplo. Se tiene una carga residencial con las siguientes demandas en un día:

Hora [h]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Carga [W]	159	159	159	159	384	384	168	168	236	236	338	301

Hora [h]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Carga [W]	343	725	725	315	315	375	375	1443	1743	543	623	159

$$\text{Factor de carga} = \frac{(\text{Demanda promedio})(\text{intervalo})}{(\text{Demanda máxima})(\text{intervalo})}$$

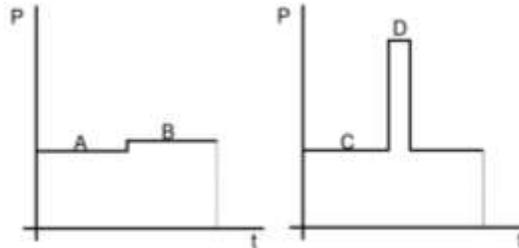
$$\begin{aligned} (\text{Demanda promedio})(\text{Intervalo}) &= (159 \text{ W} * 5 \text{ h}) + (384 \text{ W} * 2 \text{ h}) + (168 \text{ W} * 2 \text{ h}) + (236 \text{ W} * 2 \text{ h}) + \\ & (338 \text{ W} * 1 \text{ h}) + (301 \text{ W} * 1 \text{ h}) + (343 \text{ W} * 1 \text{ h}) + (725 \text{ W} * 2 \text{ h}) + \\ & (315 \text{ W} * 2 \text{ h}) + (375 \text{ W} * 2 \text{ h}) + (1443 \text{ W} * 1 \text{ h}) + (1743 \text{ W} * 2 \text{ h}) + \\ & (543 \text{ W} * 1 \text{ h}) + (623 \text{ W} * 1 \text{ h}) = 12\,278 \text{ [W*h]} \end{aligned}$$

Demanda máxima, en el intervalo de las 24 [h] se presenta sólo a las 21 [h] con 1743 [W].

$$\text{Factor de carga} = \frac{12\,278 \text{ [Wh]}}{1743 \text{ [W]} * 24 \text{ [h]}} = \frac{12\,278 \text{ [Wh]}}{41\,832 \text{ [Wh]}} = 0.294$$

Básicamente el factor de carga indica el grado en el que la demanda máxima se mantiene durante un cierto intervalo. El factor de carga es mayor que cero y menor o igual a uno. Una carga constante tiene un factor de carga igual a 1 debido a que la carga promedio y el pico de carga son iguales; esto está bien representado por una carga de alumbrado público que, normalmente entra y sale toda a la vez.

$$0 < F_c \leq 1$$



Gráfica 2.5. Ciclos de Carga

De acuerdo con esto, las dos curvas de la Gráfica 8, que representan dos ciclos de carga diferentes, al analizarlas se observa que en la primera el factor de carga es casi igual a la unidad al ser las demandas A y B casi iguales. En cambio en la segunda figura el factor de carga se aproxima a 0.5. En este caso, considerando que la duración de D es lo suficientemente grande para que la capacidad del sistema se seleccione en base de ella, se puede afirmar que la capacidad del sistema se está utilizando en una forma muy pobre. En la práctica el factor de carga de los diferentes tipos de servicio, está comprendido en un rango de 0.25 a 0.85.

Al disminuir la Demanda Max aumentaría el Fc lo que representaría que la capacidad del sistema se utiliza de una mejor forma.

Densidad de Carga: Este parámetro nos indica cuánta es la carga por unidad de área. Es frecuentemente útil para medir las necesidades eléctricas de un área determinada. Se puede medir en [kVA/m²]. Es limitado a edificios comerciales o plantas industriales.

Conociendo la densidad de carga y el área de la sección en estudio, se puede conocer el valor de la carga instalada.

$$Dc = \frac{Ci}{A} \quad (2.10)$$

donde:

Dc = densidad de carga

Ci = Carga conectada

A = Área

Ejemplo: encontrar la densidad de carga de una zona residencial de 500 metros cuadrados y cuya carga conectada es de 1800 KVA.

$$Dc = \frac{1800[kVA]}{500 [m^2]} = 3.60 \left[\frac{kVA}{m^2} \right]$$

Factor de Utilización: El Factor de Utilización (Fu) es la relación que existe entre la demanda máxima de un sistema y la capacidad nominal de ese sistema.

$$Fu = \frac{Dms}{Cs} \quad (2.11)$$

donde:

Fu = Factor de Utilización

Dms = Demanda máxima del sistema

Cs = Capacidad del sistema

En sí el Fu indica el grado en el cual un sistema está siendo cargado durante el pico de carga con relación a su capacidad; un Fu > 1 indica que el sistema está sobrecargado.



Se puede decir entonces que mientras el factor de demanda expresa el porcentaje de potencia instalada que está siendo alimentada, el de utilización establece que porcentaje de la capacidad del sistema está siendo utilizado durante el pico de carga.

Por ejemplo: En una casa se tiene la instalación eléctrica con calibre 8 a 75°C, que de acuerdo a la NOM-001 que permite hasta 50[A]. ¿Qué porcentaje del sistema se está utilizando si se tiene una carga aproximada de 20[A]?

$$Fu = \frac{Dms}{Cs}$$
$$Fu = \frac{20 [A]}{50 [A]} = 0.4$$

Demanda diversificada: Al proyectar un alimentador para determinado consumidor se debe tomar en cuenta su demanda máxima debido a que ésta es la que impondrá las condiciones más severas de carga y caída de tensión; sin embargo, surge inmediatamente una pregunta: ¿Será la demanda máxima de un conjunto de consumidores igual a la suma de las demanda máximas individuales? Desde luego la respuesta es no, pues en todo el sistema existe diversidad entre los consumidores, lo que hace que por regla general la demanda máxima de un conjunto de carga sea menos que la suma de las demandas máximas individuales.

En la ejecución de un proyecto no interesará el valor de cada demanda individual sino la del conjunto. Se define entonces que demanda diversificada es la relación entre la sumatoria de las demanda individuales del conjunto en un tiempo (ta) entre el número de cargas.

$$D_{div} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i(ta)}{n} [W] \quad (2.12)$$

Demanda máxima diversificada: Es la relación de la sumatoria de las demandas individuales de los tipos de carga cuando se presenta la demanda máxima del conjunto y el número de tipos de carga; la demanda máxima diversificada es la que se obtiene para la demanda máxima del conjunto.

$$D_{max.div} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ind.conj.}}{n} [W] \quad (2.13)$$

Se define la demanda máxima no coincidente de un conjunto de cargas como la relación entre la suma de las demandas máximas de cada carga y el número de tipos de carga, lo que matemáticamente se puede expresar así:

$$D_{mnc} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{imi}}{n} \quad (2.14)$$

donde:

D_{div} = demanda diversificada del conjunto en el instante ta .

$D_i(ta)$ = demanda de la carga i en el instante ta ($i=1,2,\dots,n$).

D_{mnc} = demanda máxima no coincidente del conjunto.

D_{imi} = demanda máxima de la carga i .



Ejemplo: Se tienen las siguientes cargas, con sus demandas respectivas a cierta hora.

Carga	16	17	18	19	20	21	[h]
Alumbrado Público				50	50	50	[kW]
Residencial	1100	800	400	400	350	350	[kW]
Industrial	1180	900	820	1900	1600	1350	[kW]

Calcular la demanda diversificada a las 16 horas:

$$D_{div} = \frac{(0 + 1100 + 1180)[kW]}{3} = 760 [kW]$$

La demanda diversificada expresa la demanda promedio que debería aportar cada tipo de carga en un instante t_a .

Calcular la demanda máxima diversificada

$$D_{max.div} = \frac{(50 + 400 + 1900)[kW]}{3} = 783.33 [kW]$$

La demanda máxima diversificada expresa la demanda promedio que debería aportar cada carga por igual cuando se produce la demanda máxima por conjunto.

Calcular la demanda máxima no coincidente del grupo de cargas del ejemplo anterior:

$$D_{mnc} = \frac{(50 + 1100 + 1900)[kW]}{3} = 1016.67 [kW]$$

La demanda máxima no coincidente, expresa la demanda promedio que debería aportar cada carga para dar la demanda de la suma de las demandas máximas individuales de cada tipo de carga, ya que no todas aportan su demanda máxima cuando ocurre la demanda máxima del conjunto.

La diversidad entre las demandas máximas se mide por el factor de diversidad, que se puede definir como la relación entre la suma de las demandas máximas individuales entre la demanda máxima del grupo de cargas. El factor de diversidad se puede referir a dos o más cargas separadas o se pueden incluir todas las cargas de cualquier parte de un sistema eléctrico o de un sistema complejo; esto se puede expresar matemáticamente como sigue:

Factor de diversidad: Se utiliza para medir la diversidad entre la demanda máxima no coincidente de un grupo de cargas y la demanda máxima diversificada del grupo de cargas.

$$F_{div} = \frac{D_{max \text{ no coinc.}}}{D_{max \text{ div.}}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{maxi}}{D_{max \text{ sist}}} \quad (2.15)$$

Factor de coincidencia: Recíproco al factor de diversidad.

$$F_{coinc} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{mi}}{D_{ms}} \quad (2.16)$$



Calcular el factor de diversidad y el Factor de Coincidencia.

$$F_{div} = \frac{1016.67 [kW]}{783.33 [kW]} = 1.298$$

$$F_{coinc} = \frac{783.33 [kW]}{1016.67 [kW]} = 0.77$$



2.3 Caso Base

Para el caso base tomaremos la Unidad Habitacional Pedregal de Carrasco.

- 15 edificios.
- 10 departamentos de 62.37 [m²] (chicos) y 10 departamentos de 79.23 [m²](grandes) por edificio.
- Servicios generales por edificio (iluminación – bomba de agua)
- 734 personas en la Unidad.
- 89 menores de 14 años.
- 163 entre 15 y 29 años.
- 331 entre 30 y 59 años.
- 152 de la tercera edad.

Departamento Chico

En la siguiente tabla se muestran las cargas instaladas, las cargas sombreadas son las que se encuentran conectadas cuando ocurre la demanda máxima del departamento, a las 19:00 [h]:

CARGAS ELECTRICAS EN UN DEPARTAMENTO CHICO				
FP	0.9	HORA PICO 19:00		
Cuartos	Cantidad	Descripción	Potencia Unitaria [kW]	Potencia subtotal [kW]
ESTANCIA	1	Estéreo	0.170	0.170
	1	DVD	0.010	0.010
	1	TV 32" LCD	0.106	0.106
	2	LFC	0.023	0.046
COCINA	1	Microondas	1.000	1.000
	1	Refrigerador	0.350	0.350
	1	LFC	0.023	0.023
	1	Licuada	0.350	0.350
PATIO	1	Lavadora	0.400	0.400
	1	LFC	0.023	0.023
PASILLO	1	LFC	0.023	0.023
CUARTO 1	1	FOCO INCANDESCENTE	0.100	0.100
	1	TV 19" LCD	0.040	0.040
	1	Laptop	0.070	0.070
CUARTO 2	1	LFC	0.023	0.023
	1	Plancha para ropa	1.200	1.200
BAÑO	2	LFC	0.023	0.046
CARGA INSTALADA = Σ(potencias nominales [kW])				3.98

Tabla 2.4. Carga instalada en un departamento chico con área de 62.37 m².

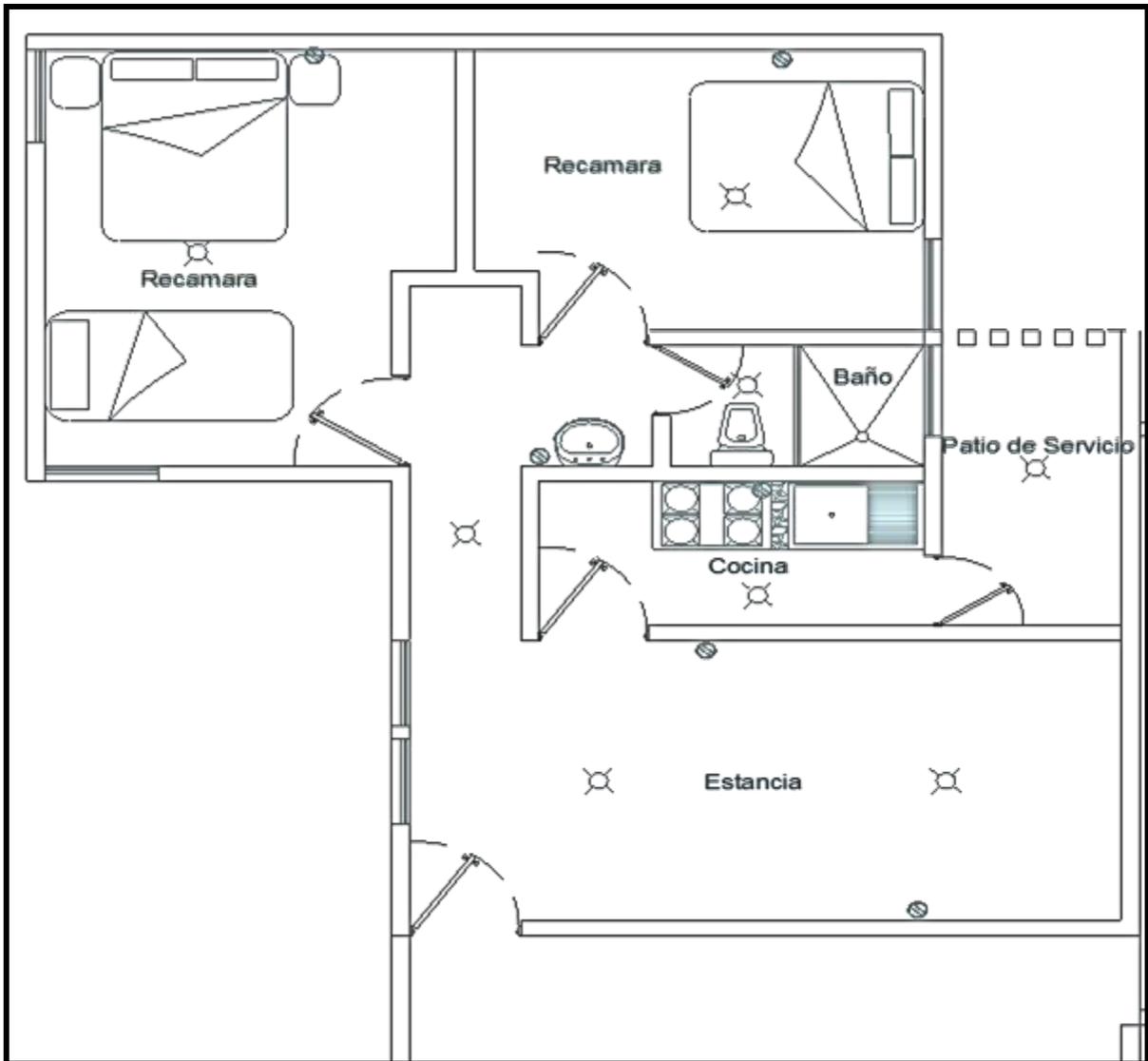


Imagen 2.2. Plano Departamento Chico



Departamento Grande

Para un departamento grande en la siguiente tabla se muestran las cargas instaladas, las cargas sombreadas son las que se encuentran conectadas cuando ocurre la demanda máxima del departamento, a las 20:00 [h]:

CARGAS ELECTRICAS EN UN DEPARTAMENTO GRANDE				
FP	0.9	HORA PICO 20:00		
Cuartos	Cantidad	Descripción	Potencia Unitaria [kW]	Potencia subtotal [kW]
ESTANCIA	1	Estéreo	0.17	0.17
	1	DVD	0.01	0.01
	1	TV 32" LCD	0.11	0.11
	1	Impresora	0.014	0.014
	2	LFC	0.023	0.046
COCINA	1	Estufa con campana	0.239	0.239
	1	Microondas	1.4	1.4
	1	Refrigerador	0.35	0.35
	1	LFC	0.023	0.023
	1	Licuada	0.35	0.35
PATIO	1	Lavadora	0.4	0.4
	1	LFC	0.023	0.023
PASILLO	1	LFC	0.023	0.023
CUARTO 1	1	FOCO INCANDESCENTE	0.1	0.1
	1	TV 19" LCD	0.04	0.04
	1	Tenaza 2 pelo	0.085	0.085
	1	Lámpara	0.04	0.04
	1	Laptop DELL	0.07	0.07
CUARTO 2	1	LFC	0.023	0.023
	1	Plancha para ropa	1.2	1.2
BAÑO	2	LFC	0.023	0.046
CUARTO 3	1	LCF	0.023	0.023
	1	Lámpara	0.04	0.04
	1	Laptop	0.07	0.07
	1	Mini componente	0.05	0.05
CARGA INSTALADA = \sum(potencias nominales [kW])				4.945

Tabla 2.5. Carga instalada en un departamento grande con área de 79.23 [m²]

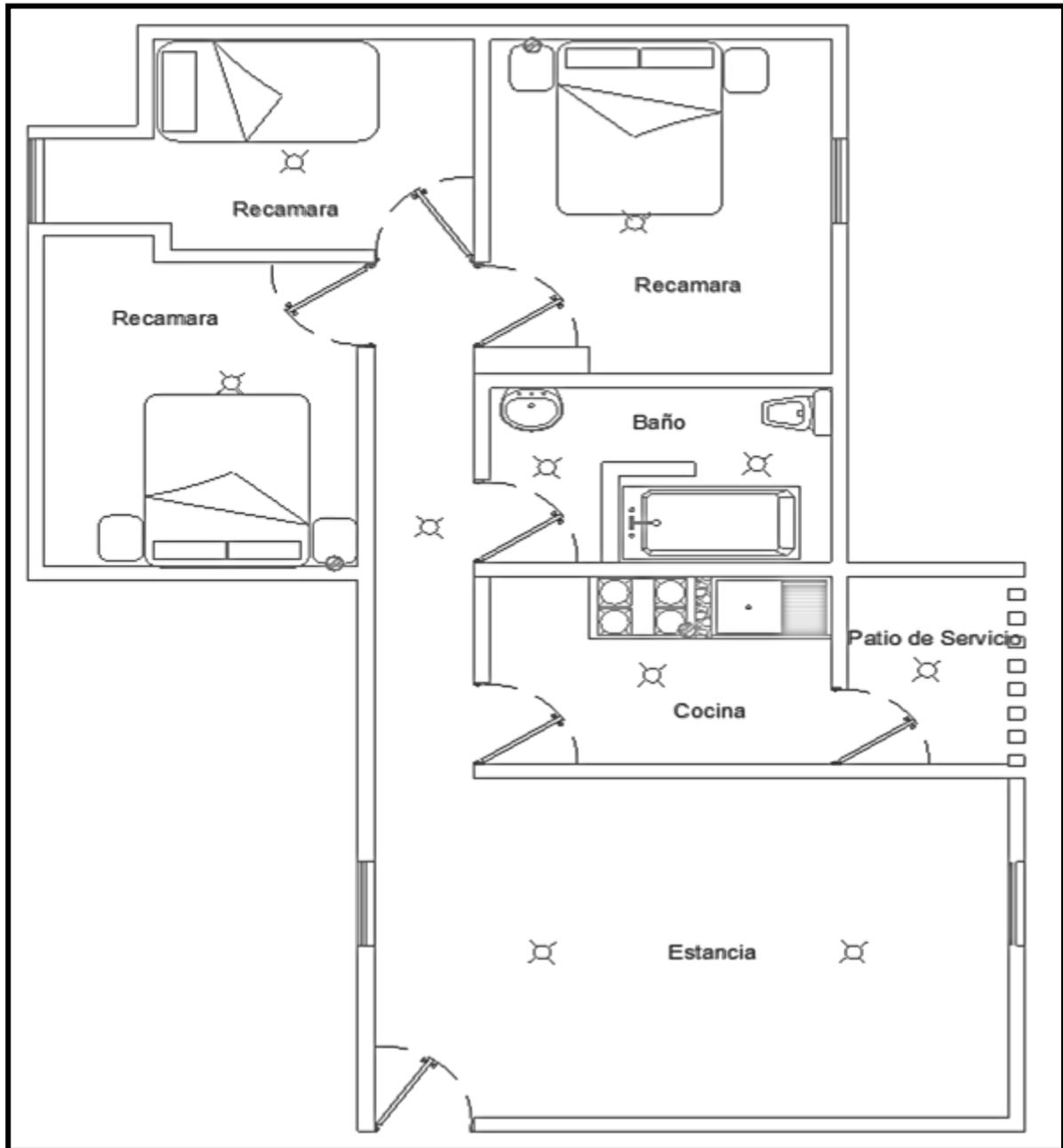


Imagen 2.3. Plano Departamento Grande.



2.4 Determinación de Carga Instalada y Demanda Máxima por Departamento

El cálculo de la carga instalada en ambos tipos de departamentos es la sumatoria de las potencias nominales de todos los dispositivos electrónicos existentes, además se considera que por cada departamento se tienen un factor de potencia de 0.9 y un voltaje de 127 [V].

$$\text{Carga instalada} = \sum \text{potencias nominales [W]}.$$

$$\text{Carga instalada en [VA]} = \frac{\text{Potencia inst.}}{f.p.}$$

Departamento chico

$$\text{Carga instalada en [kW]} = 3.980 \text{ [kW]}.$$

$$\text{Carga instalada en [VA]} = \frac{3980[\text{W}]}{0.9} = 4422.22 \text{ [VA]}.$$

$$\text{Carga instalada en [A]} = \frac{\text{Carga}}{\text{Voltaje} * F.P} = \frac{3980[\text{W}]}{127[\text{V}] * 0.9} = 34.82 \text{ [A]}.$$

Departamento grande

$$\text{Carga instalada en [kW]} = 4.945 \text{ [W]}.$$

$$\text{Carga instalada en [VA]} = \frac{4945[\text{W}]}{0.9} = 5494.44 \text{ [VA]}.$$

$$\text{Carga instalada en [A]} = \frac{\text{Carga}}{\text{Voltaje} * F.P} = \frac{4945[\text{W}]}{127[\text{V}] * 0.9} = 43.26 \text{ [A]}.$$

Cálculo de la Demanda Máxima y Factor de Demanda por Departamento

Para la demanda máxima se hace la sumatoria de las cargas conectadas cuando ocurre la demanda máxima en cada departamento. El factor de demanda se calcula de acuerdo a la ecuación (2.7).

Departamento chico

$$\text{Demanda máxima} = \text{TV 32"} + \text{HORNO DE MICROONDAS} + \text{REFRIGERADOR} + \text{LICUADORA} + \text{TV 19"} + \text{LAPTOP} + (8 \times \text{LFC}) + \text{FOCO INCANDESCENTE}$$

$$\text{Demanda máxima} = (.106 + 1.0 + .35 + .35 + .040 + .070 + (8 \times .023) + .10) \text{ [kW]}$$

$$\text{Demanda máxima} = 2.20 \text{ [kW]}$$

$$\text{Factor de demanda \%} = \frac{2.20 \text{ [kW]}}{3.98 \text{ [kW]}} \times 100$$

$$\text{Factor de demanda \%} = 55.3$$



Departamento grande

Demanda máxima = ESTEREO TV 32" + IMPRESORA + ESTUFA CON CAMPANA + HORNO DE MICROONDAS + REFRIGERADOR + TV 19" + LAPTOP 1 + LAPTOP 2 + MINI COMPONENTE + (9xLFC)+FOCO INCANDESCENTE + (2 x LÁMPARA 40W)

$$Demanda \text{ máxima} = (.17 + .11 + .014 + .239 + 1.4 + .35 + .04 + .07 + .07 + .05 + (9 \times .023) + .10 + (2 \times .04)) [kW]$$

Demanda máxima = 2.90 [kW]

$$Factor \text{ de demanda } \% = \frac{2.900 [W]}{4.945 [W]} \times 100$$

Factor de demanda % = 58.7

2.5 Determinación de Carga Instalada y Demanda Máxima para un Edificio

Servicios Generales

En la siguiente tabla se pueden observar la carga instalada de los servicios generales (Iluminación - bomba), demandas máximas individuales y factores de demanda de cada tipo de carga:

D. MAX. INDIVIDUALES DE LOS SERVICIOS GENERALES DEL EDIFICIO TENSION: 127 [V]						
Descripción	Cantidad	Tipo	Potencia Unitaria	Potencia total	Factor de Demanda	Unidades
Iluminación Interior	11	LFC circular	0.032	0.352	1	[kW]
Iluminación Entrada al Edificio	2	LFC	0.013	0.026	1	[kW]
Bomba	1	Bomba centrífuga	0.746	0.746	1	[kW]
TOTAL DE DEMANDAS MAX. INDIVIDUALES				1.124 [kW]		
				8.850 [A]		

Tabla 2.6. Cargas de servicios generales

Análisis de un edificio

Las siguientes dos Tablas 10 y 11 muestran la suma de la carga instalada total del edificio y el total de las demandas máximas individuales, respectivamente. La diferencia entre una y otra es considerable. Es muy importante considerar la demanda máxima ya que es la que impondrá las condiciones más severas de carga y caída de tensión en el conductor que alimente al edificio.



TIPOS DE CARGA	CARGA POR CONCEPTO [kW]	N° Elementos	[kW] TOTALES
DEPARTAMENTOS GRANDES	4.945	10	49.450
DEPARTAMENTOS CHICOS	3.980	10	39.800
MOTOR TRIFASICA	0.746	1	0.746
ILUMINACION INTERIOR EN EDIFICIOS	0.378	1	0.378
OTAL CARGA INSTALADA [kW]			90.374

Tabla 2.7. Carga total por Edificio

TIPOS DE CARGA	DEMANDA POR CONCEPTO[kW]	N° Elementos	[kW] TOTALES
DEPARTAMENTOS GRANDES	2.900	10	29.000
DEPARTAMENTOS CHICOS	2.200	10	22.000
MOTOR TRIFASICA	0.746	1	0.746
ILUMINACION INTERIOR EN EDIFICIOS	0.378	1	0.378
SUMA DE DEMANDAS MAXIMAS INDIVIDUALES DEL EDIFICIO [kW]			52.124

Tabla 2.8. Demandas máximas individuales por edificio

Sin embargo las demandas máximas individuales no ocurren a la misma hora por lo que es necesario saber el comportamiento que tienen en conjunto para obtener una demanda máxima del propio edificio, es decir la demanda máxima del sistema.

DEMANDA DEL EDIFICIO EN [kW]												
TIPO \ HORA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
ILUMINACION	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0	0	0	0	0
BOMBA	0	0	0	0	0	0.746	0	0	0	0	0	0
DEPTOS. GRANDES	8.70	7.25	7.25	6.67	6.67	11.60	17.40	14.50	11.60	11.02	13.05	14.50
DEPTOS. CHICOS	5.50	5.06	5.06	5.06	5.50	7.70	9.90	13.20	12.10	8.14	9.90	11.00
EDIFICIO	14.58	12.69	12.69	12.18	12.55	20.42	27.68	27.70	23.70	19.16	22.95	25.50

TIPO \ HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ILUMINACION	0	0	0	0	0	0	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
BOMBA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEPTOS. GRANDES	14.50	15.95	13.05	15.37	16.53	17.40	24.65	29.00	27.84	21.75	14.50	11.60
DEPTOS. CHICOS	9.90	8.80	8.80	12.10	13.20	16.50	22.00	19.80	18.70	16.50	13.20	7.70
EDIFICIO	24.40	24.75	21.85	27.47	29.73	33.90	47.03	49.18	46.92	38.63	28.08	19.68

Tabla 2.9. Demanda en Watts del edificio



Demanda máxima del edificio

De acuerdo a la tabla anterior se determina la demanda máxima del sistema o del edificio, ocurre a las 20 [h]:

$$D_{m\acute{a}x_{edif}} = 49.18 [kW]$$

Factor de diversidad y Factor de Coincidencia

$$F_{div} = \frac{(0.38 + 0.75 + 29.00 + 22.00)[kW]}{49.18 [kW]}$$

$$F_{div} = 1.06$$

$$F_{coin} = \frac{1}{F_{div}} = 0.94$$



CAPITULO 3

EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

Los sistemas de distribución son de gran importancia, porque son los encargados de llevar hasta el usuario la energía eléctrica. Este es un índice infalible del desarrollo económico y del bienestar social, ya que sin la energía eléctrica no se puede realizar las actividades productivas y de servicio de la vida moderna. Es común que, cuanto más energía consume un país, más alto es su nivel socioeconómico.

3.1 Sistemas de Distribución

Antes de definir el concepto de Sistema de distribución debemos conocer que es un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia). El sistema eléctrico de potencia (SEP) es el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo.

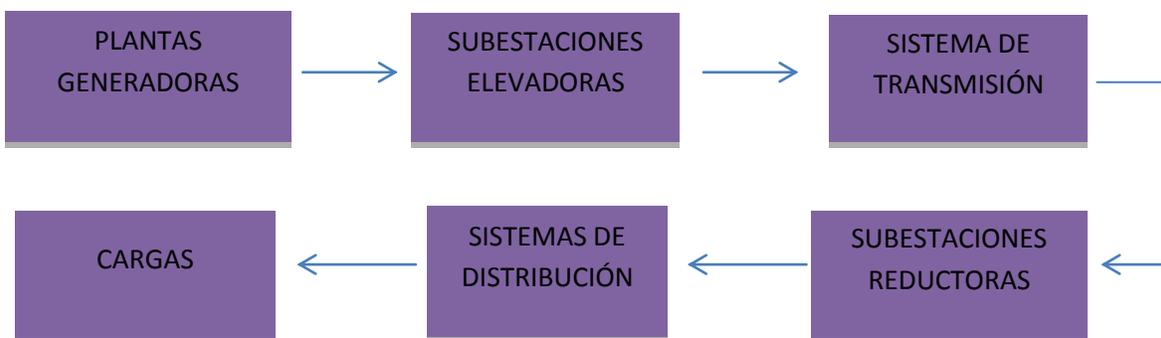


Imagen 3.1. Diagrama de bloques de un SEP.

Los sistemas de distribución tienen como función suministrar a los consumidores la energía eléctrica producida en las plantas generadoras y transmitidas por el sistema de transmisión hasta las subestaciones de distribución.

Un sistema de distribución tiene la función de suministrar la energía eléctrica proveniente de las subestaciones de distribución, a los consumidores.

Un sistema de distribución se forma de los siguientes elementos los cuales se definirán más adelante:

- Subestación de distribución.
- Alimentadores primarios.
- Transformadores de distribución.
- Secundarios y servicios.

Estos elementos son válidos para cualquier tipo de carga, tanto en redes aéreas como en subterráneas.

- Subestación de distribución:** Una subestación eléctrica de distribución es aquella que cuenta con puntos de transformación de los niveles de tensión de subtransmisión (230 kV, 115 kV, 85 kV) a niveles de distribución (23 kVó 34.5 kV), que controlan directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia. Maneja capacidades de decenas de MVA, por ejemplo, bancos de transformadores de 60 MVA.



- b) Alimentadores primarios: Son los circuitos que salen de la subestación eléctrica (SE) de distribución y llevan el flujo de potencia hasta los transformadores de distribución. La capacidad del alimentador depende de la tensión de distribución (23 kV a 34.5 kV) y de la capacidad del banco de transformadores que lo alimentan, cabe mencionar que son de cuatro a seis circuitos los que alimenta cada banco, es por ello que su capacidad de conducción puede ser de 5 MVA a 15 MVA.
- c) Transformadores de distribución: Reduce la tensión del alimentador primario a la tensión de utilización del usuario. Las tensiones de utilización comunes son 480 V, 440 V y 220 V entre fases. Los transformadores de distribución tienen una capacidad nominal desde 5 kVA hasta 500 kVA.
- d) Secundarios y servicios: Distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios. Sus capacidades van desde 5 KVA hasta 500 KVA en redes aéreas y en subterráneas.

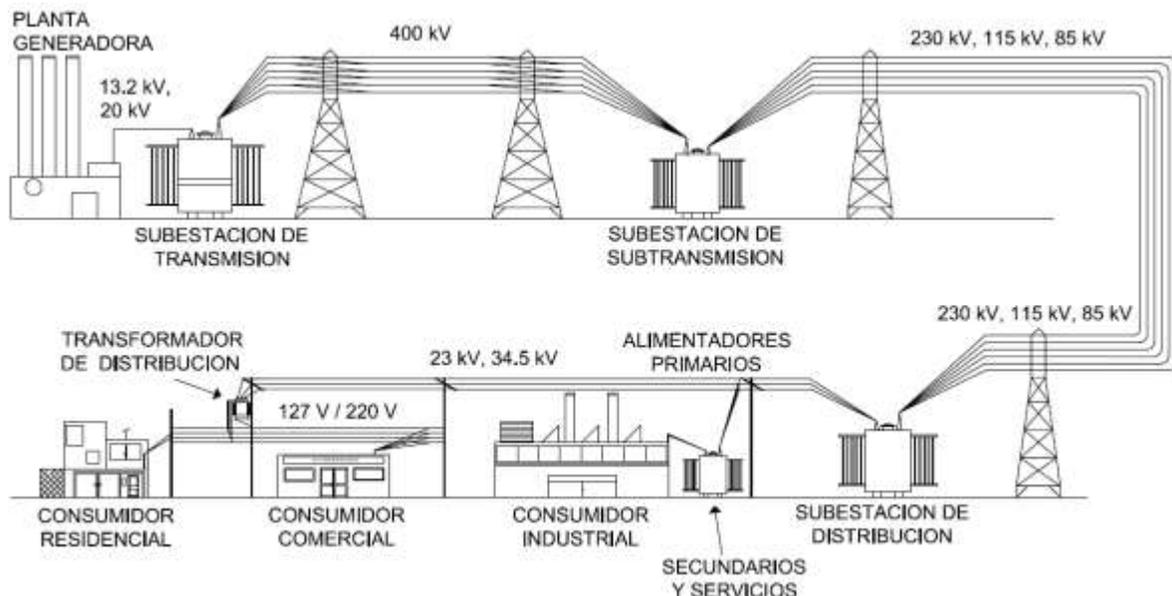


Imagen 3.2. Representación de un sistema eléctrico de potencia, énfasis en sistema de distribución.

3.1.1 Tensiones Normalizadas en el Sistema de Distribución en el País

En México las tensiones de distribución normalizadas son:

En Media Tensión de 23 kV en el Distrito Federal y Área Metropolitana, mientras en el interior de la República de 34.5 kV.

En Baja Tensión de 115 V a 127 V entre fase y neutro y de 220 V a 240 V entre fases. La tensión de 480 V entre fases es rara vez suministrada por la compañía eléctrica.

3.2 Estructuras Fundamentales

Los sistemas de distribución se pueden desarrollar en estructuras diversas. La estructura de la red de distribución que se adapte tanto en mediana como en baja tensión depende de los parámetros



que intervengan en la planeación de la red, tales como:

- Tipo de carga.
- Localización geográfica de la carga.
- Área de expansión en la carga.
- Continuidad del servicio.

Un punto importante en la decisión tanto del tipo de construcción como de la estructura del sistema de distribución que se va a desarrollar depende considerablemente de la calidad del servicio que se desee, pudiéndose subdividir está en dos partes fundamentales:

- Continuidad del servicio.
- Regulación de tensión.

La topología del sistema tendrá una influencia decisiva en la continuidad del sistema y un impacto menor en la regulación de tensión.

3.2.1 Clasificación en cuanto su Operación

En cuanto a su operación existen dos tipos fundamentales:

- Radial
- Paralelo

En una operación radial el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente a la carga, este tipo de operación no cumple con las expectativas de continuidad ya que una falla en el alimentador o en cualquier punto del sistema producirá una interrupción total en el servicio. La imagen 3.3 muestra un alimentador radial.

La operación en paralelo es más confiable que la operación radial. El flujo de energía se divide entre varios elementos, teniendo más de una trayectoria. La continuidad está asegurada por la operación en paralelo, ya que si falla algún alimentador, los otros absorberán la carga sin suspenderse el servicio. Con este tipo de redes se tiene una estructura sencilla en la red primaria, donde las subestaciones están conectadas en simple derivación radial. Esta estructura se emplea para alimentar a servicios importantes, como hospitales, edificios públicos y fabricas que por la naturaleza del proceso no permiten falta de energía en ningún momento. La imagen 3.4 es un ejemplo de una red de operación en paralelo.

3.2.2 Clasificación en cuanto a su Constitución

En cuanto a constitutivo se tienen las variaciones y modificaciones de las dos operaciones anteriores, en media y baja tensión por lo que existen tres tipos fundamentales de sistema de distribución:

1. Sistema Aéreo
2. Sistema Subterráneo
3. Sistema Mixto

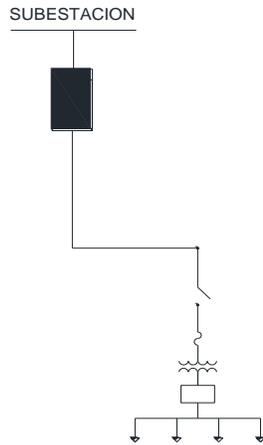


Imagen 3.3. Sistema Radial en Baja Tensión

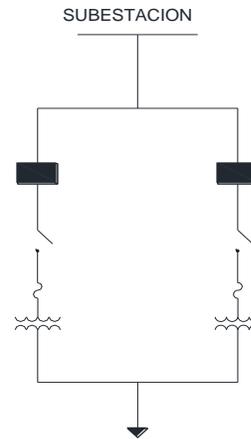


Imagen 3.4. Sistema en Paralelo

1. **Sistema Aéreo:** Se caracteriza por su sencillez y economía, razón por la cual su empleo está muy generalizado. Sus elementos principales (transformadores, cuchillas, seccionadores, cables, etc.) se instala en postes o estructuras de distintos materiales. La configuración más sencilla que se emplea para los alimentadores primarios es del tipo arbolar, consiste en conductores de calibre grueso en la troncal y de menor calibre en las derivaciones o ramales. Esta red tiene las siguientes estructuras.

- **En Media Tensión**

- I. Sistema Radial: Su operación es de tipo radial, por lo que la energía fluye en una sola trayectoria. Este sistema de servicio de energía eléctrica es probablemente el más antiguo y usado.

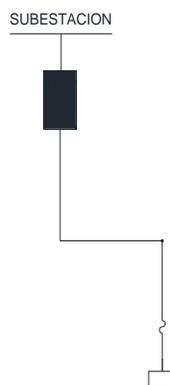


Imagen 3.5: Sistema Radial en Media Tensión

- II. Sistema en anillo abierto: Este tipo de estructura consiste en bucles de igual sección, derivados directamente de la subestacion de distribución. Los transformadores de distribución se alimentan exclusivamente en seccionamientos. Las redes en anillo normalmente operan abiertas en un punto que por lo general es el punto medio, razón por la cual se les conoce como redes en anillo abierto. Al ocurrir una falla dentro de un anillo se secciona el tramo dañado para proceder a la reparación, siguiendo una serie de maniobras con los elementos de desconexión instalados a lo largo del subtroncal. El sistema de anillo abierto con dos o mas alimentadores es el mas utilizado por la compañía suministradora (CFE), para la distribución de la energía eléctrica en media tensión.

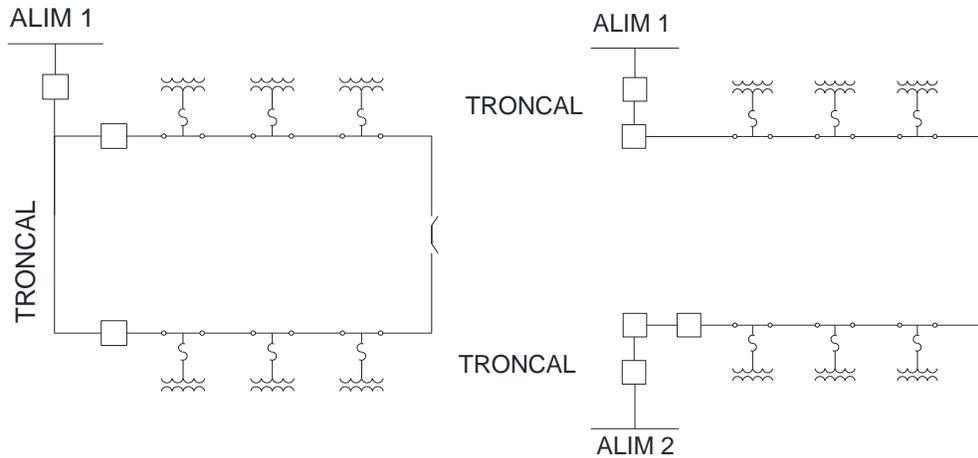


Imagen 3.6. Sistema en Anillo Abierto con un Alimentador

Imagen 3.7. Sistema en Anillo Abierto con dos Alimentadores

• **En Baja Tensión**

- I. **Sistema radial sin amarres:** Se usa para cargas que no son tan delicadas, es decir, cargas tipo normales. Estas pueden ser residenciales, comerciales, domésticas y de pequeña industria; el cual es el más utilizado por CFE para sus líneas de distribución. En la Imagen 4 podemos observar un ejemplo de este sistema.
- II. **Sistema radial con amarres:** Se usa para cargas tipo sensible o semisensible. Es necesario enfatizar que este tipo de estructura para su correcto funcionamiento debe colocarse en zonas restringidas, debido a que el sistema está expuesto y es vulnerable a que puedan conectarse a este. Es por esto que su utilización no es tan común en forma aérea. La imagen 5 es un ejemplo del sistema radial con amarres.

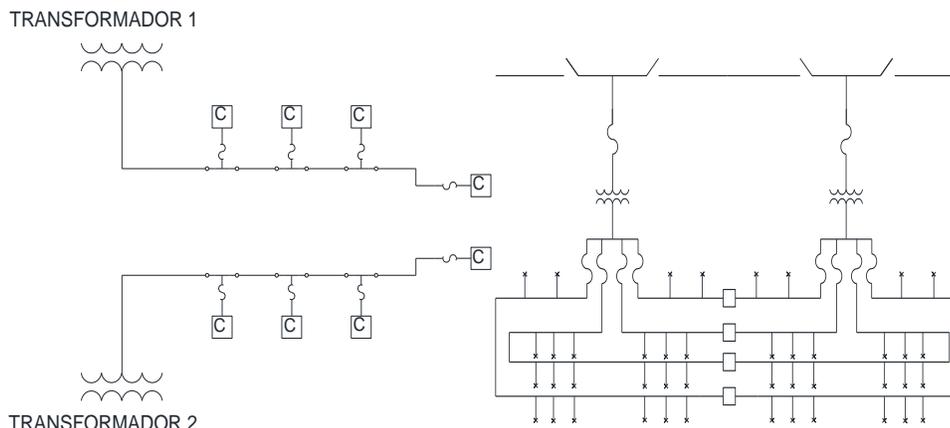


Imagen 3.8. Sistema Radial sin Amarres en Baja Tensión.

Imagen 3.9. Sistema Radial con Amarres.

2. **Sistema Subterráneo:** Los sistemas subterráneos tienen aplicación cuando se atienden grandes demandas de energía en donde se requiere una gran continuidad en el servicio. Son más confiables porque no están expuestas a descargas atmosféricas directamente, tormentas, choques de vehículos, caída de árboles, lanzamiento de objetos, etc., como lo están las redes aéreas.

Los sistemas subterráneos también se usan en fraccionamientos residenciales de lujo por razones estéticas, es decir el sistema de distribución de energía eléctrica se realiza en



forma oculta, eliminando los postes, así como los transformadores y líneas áreas que afean notablemente el paisaje.

Los sistemas subterráneos presentan también algunas desventajas, entre las que sobresalen las siguientes:

- a) Su poca accesibilidad, lo que dificulta localizar las fallas.
- b) Una interrupción del servicio por falla más prolongada que en las redes aéreas.
- c) Mayor dificultad en los trabajos de mantenimiento.
- d) Un costo mucho mayor que el de redes aéreas.

Este sistema tiene las siguientes estructuras:

• **En Media Tensión**

- I. **Sistema radial:** Es recomendable en zonas extendidas con altas densidades de cargas, de $5 \frac{MVA}{km^2}$ a $20 \frac{MVA}{km^2}$ y fuertes tendencias de crecimiento.
- II. **Sistema paralelo:** Para cargas sensibles o semisensibles y con alta densidad de carga, de $5 \frac{MVA}{km^2}$ a $20 \frac{MVA}{km^2}$. La continuidad está asegurada por la operación en paralelo, ya que si falla algún alimentador, los otros absorberán la carga sin suspenderse el servicio; es por esto que el sistema debe estar bien diseñado teniendo además un control sobre el mismo ya que si los otros alimentadores no tienen la capacidad de absorber la carga, se corre el riesgo de que también salgan de servicio, ocasionando una falla aún mayor.

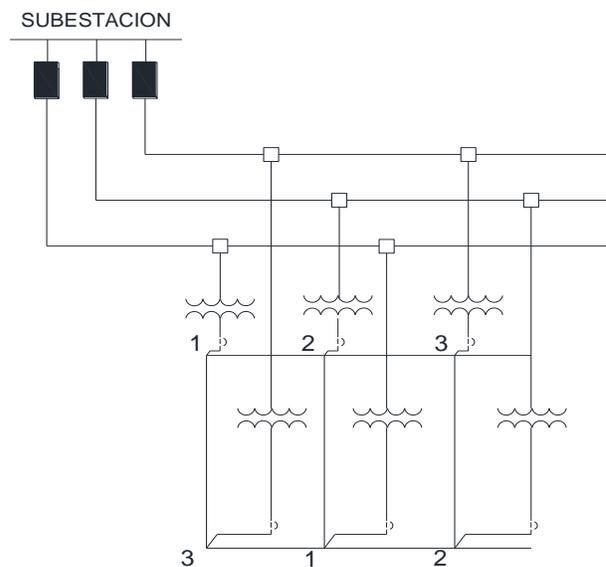


Imagen 3.10. Sistema en Paralelo.

- III. **Sistema en anillo abierto:** Este tipo de estructura se constituye a base de bucles de igual sección, derivados de la subestaciones fuente. Las subestaciones de distribución quedan alimentadas en seccionamiento exclusivamente. Las redes en anillo normalmente operan abiertas en un punto que por lo general es el punto medio, razón por la cual se les conoce como redes en anillo abierto. Al ocurrir una falla dentro de un anillo se secciona el tramo dañado para proceder a la reparación, siguiendo una serie



de maniobras con los elementos de desconexión instalados a lo largo del subtronal. Es recomendable en zonas con densidades de carga de $5 \frac{MVA}{km^2}$ a $15 \frac{MVA}{km^2}$ y en donde el aumento de la carga es nulo o muy pequeño, de tal manera que se pueda absorber fácilmente con la estructura inicial, sin que sea necesario realizar trabajos para modificar la configuración de la red. Un ejemplo es la electrificación de los conjuntos habitacionales. La configuración de este sistema es la misma que se presenta en la Aérea.

- IV. Sistema de anillo cerrado: El esquema de esta estructura es semejante al anterior y varía únicamente en que no existe un punto normalmente abierto. Esta estructura tiene gran aplicación en zonas amplias; se desarrolla en cables subterráneos por la facilidad que se tiene de incrementar la capacidad instalada paulatinamente sin afectar la estructura fundamental de la red. La operación de una red de este tipo es un poco más complicada que la anterior por el tipo de protección, pero es indudable que la confiabilidad del sistema aumente en forma considerable. Existen otras ventajas en la implantación de este tipo de estructuras, como un factor de utilización mayor del 60 % y un mejor control del nivel del corto circuito.

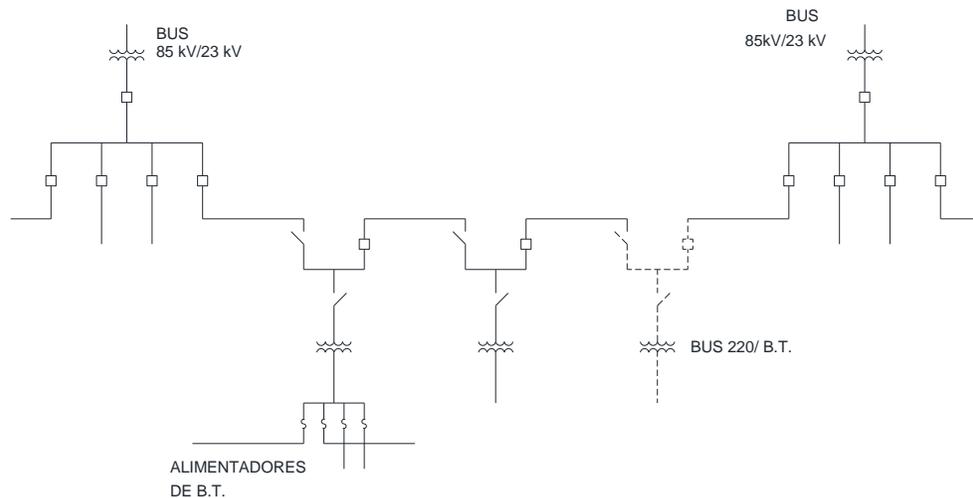


Imagen 3.11. Sistema en Anillo Cerrado.

Esta estructura tiene gran aplicación en zonas amplias; se desarrolla en cables subterráneos por la facilidad que se tiene de incrementar la capacidad instalada paulatinamente sin afectar la estructura fundamental de la red. La operación de una red de este tipo es un poco más complicada que la anterior por el tipo de protección, pero es indudable que la confiabilidad del sistema aumente en forma considerable. Existen otras ventajas en la implantación de este tipo de estructuras, como un factor de utilización mayor del 60 % y un mejor control del nivel del corto circuito.

- V. Sistema en doble derivación: La disposición de los alimentadores se hace en pares, siendo las secciones uniformes para los cables troncales y menores para las derivaciones a la subestación y servicios, los cuales quedan alimentados en derivación, está estructura es adecuada en zonas concentradas de carga con densidad de $5 \frac{MVA}{km^2}$ a $15 \frac{MVA}{km^2}$, como zonas industriales y comerciales en donde se requiere la doble alimentación para tener una mayor confiabilidad. La operación de este tipo de arreglos



se realiza a base de alimentadores preferentes y emergentes con transferencia manual o automática. Cuando se presentan fallas en algunos de los alimentadores, se eliminan por el interruptor principal y en seguida se transfiere la carga al otro alimentador. La transferencia automática es la mejor pero la de mayor costo. La imagen 3.12 muestra este sistema.

- vi. Sistema en derivación múltiple: el principio fundamental de esta estructura es que los alimentadores contribuyan simultáneamente en la alimentación de la carga. Se constituye con secciones combinadas en forma decreciente y con cables de menor calibre para las alimentaciones a las cargas. Esta estructura es aplicable a densidades de carga mayores a $30 \frac{MVA}{km^2}$ en aquellas zonas de urbanismo moderno donde se desea elevar la confiabilidad. Para asegurar la continuidad del servicio la carga se reparte entre los alimentadores de tal modo que si se llega a desconectar alguno de ellos su carga se pase en fracciones más o menos iguales a los restantes que continúen en operación. La imagen 3.13 muestra el sistema en derivación múltiple.

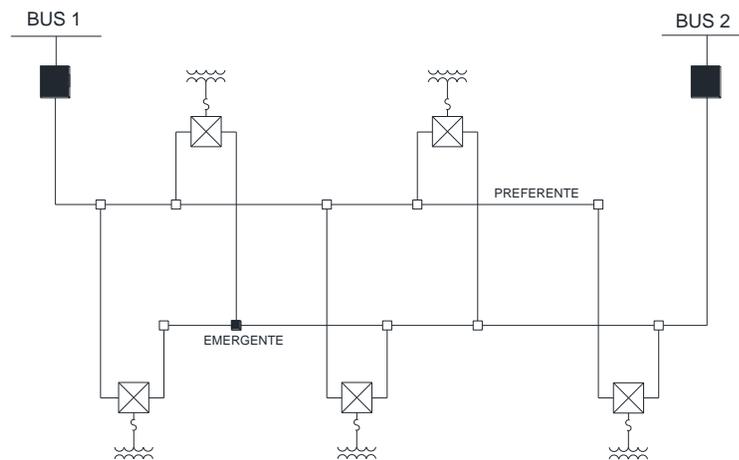


Imagen 3.12. Sistema en Doble Derivación.

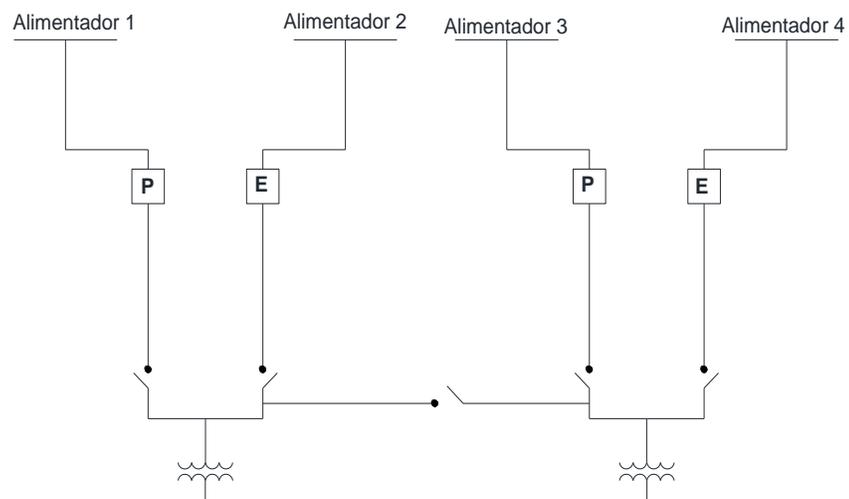


Imagen 3.13. Sistema en Derivación Múltiple.



- VII. Sistema de alimentadores selectivos: Esta red se constituye por cables troncales que salen preferentemente de subestaciones diferentes y que llegan hasta la zona por alimentar; de estos troncales se derivan cables ramales de menor sección que van de un troncal a otro enlazándolos, siguiendo el principio de la doble alimentación. Las subestaciones o transformadores de distribución se reparten entre parejas de alimentadores troncales que quedan conectadas en seccionamiento. Esta estructura es aplicable para zonas de rápido crecimiento y densidades mayores a $15 \frac{MVA}{km^2}$. En la imagen 3.14 se representa esta estructura.

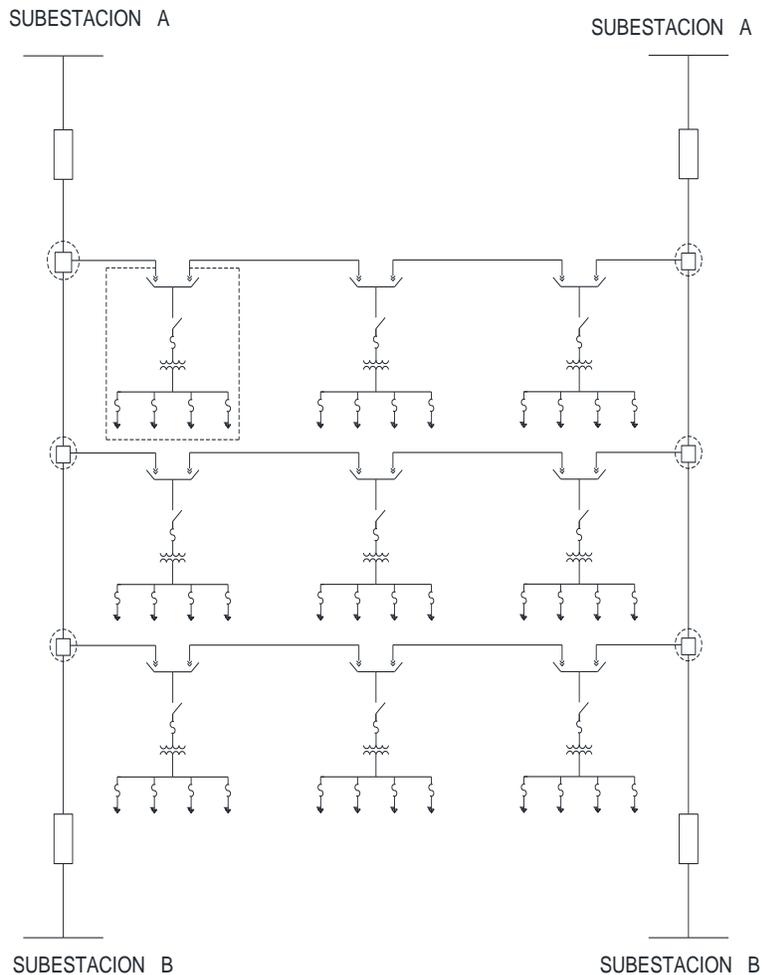


Imagen 3.14. Sistema Alimentadores Selectivos.

- **En Baja Tensión**

- I. Sistema radial sin amarres: para cargas residenciales y normales: En este tipo de estructura, los cables parten en diferentes direcciones desde el lugar donde se encuentra instalado el transformador. Si ocurre una falla en el transformador dejara sin servicio a todos los consumidores alimentados por esta instalación. La forma de la estructura es igual que en la aérea.
- II. Sistema radial con amarres: Esta estructura sirve para evitar la situación de la red anterior, ya que cuando hay problemas en algún alimentador o transformador, la red se prevé de medios de amarre que consisten en cajas de seccionamiento intercalados en



cada alimentador con otra red radial y que se instala normalmente en las esquinas con objeto de darle mayor flexibilidad en su conexión. La forma de la estructura es igual que la aérea.

- III. Sistema de red automática: La red automática ofrece la más alta continuidad del servicio y la mejor regulación de tensión. Es aplicable, por su alto costo, en ciudades donde se tiene una gran concentración de cargas repartidas más o menos uniformemente a lo largo de las calles. Este sistema da servicio prácticamente continuo, ya que las fallas en alta tensión y en los secundarios poco afectan a los usuarios. Un ejemplo de este sistema se encuentra instalado en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

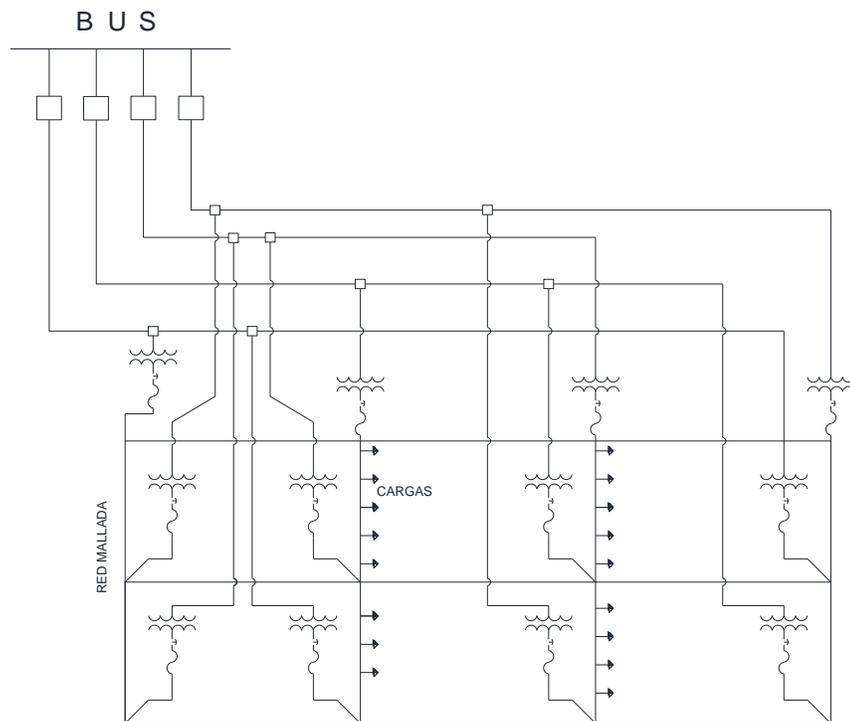


Imagen 3.15. Red automática.

3. **Sistema Mixto**: Es una combinación de la aérea y de la subterránea. Este sistema tiene la ventaja de que elimina gran cantidad de conductores aéreos, favoreciendo con esto la estética y disminuyendo notablemente el número de fallas en la distribución secundaria, con lo que aumenta por consecuencia la confiabilidad del sistema. La instalación subterránea puede ser canalizada o con cable directamente enterrado, el tipo de conductor a utilizar es con aislamiento XLP.

Aunque los sistemas subterráneos no llegan a ser confiables en un cien por ciento, estos deben ser diseñados y ejecutados pensando en todos o varios de los propósitos siguientes:

1. Seguridad
2. Rápida localización de fallas
3. Reparación rápida de Fallas
4. Aislamiento manual o automático de las fallas
5. Restauración manual o automática para los consumidores no afectados

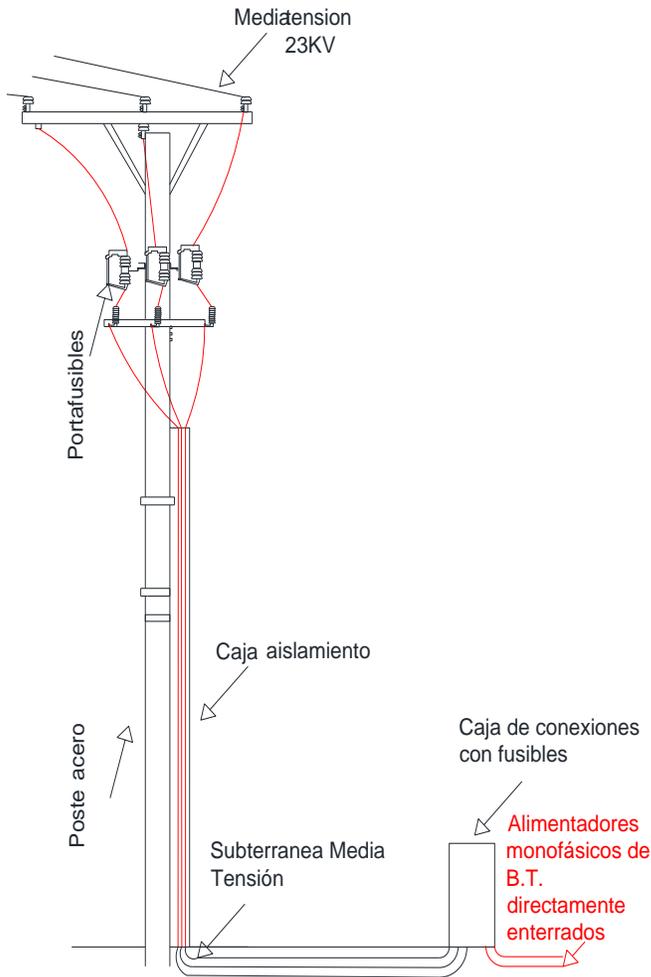


Imagen 3.16. Red Mixta, aérea y subterránea M.T. y subterránea BT.

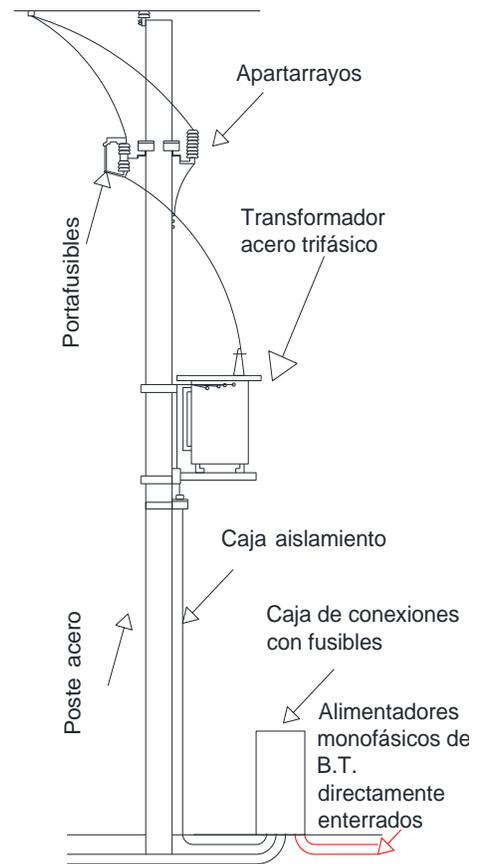


Imagen 3.17. Red Mixta, aérea M.T. y subterránea B.T.

En una red mixta se tienen de igual forma una combinación de la aérea y de la subterránea, sin embargo para este caso tenemos en Media Tensión distribución aérea y subterránea hasta la entrada del transformador, posteriormente a la salida del mismo tenemos una topología subterránea pero ahora en Baja Tensión.

3.3 Conductores

Un conductor es un material que ofrece pequeña resistencia a la corriente eléctrica. Los conductores para las instalaciones eléctricas deben ser:

- a) De baja resistencia eléctrica
- b) Mecánicamente fuertes y flexibles
- c) Relativamente baratos

En las instalaciones eléctricas residenciales los conductores son los elementos que proveen las trayectorias de circulación de la corriente eléctrica, y están forrados con un material aislante con el fin de garantizar que el flujo de corriente se a través del conductor. La selección de éste debe hacerse tomando en cuenta principalmente los factores siguientes:



- **Materiales:** Para elegir el material conductor se consideran aspectos económicos y técnicos como son disponibilidad, costo inicial, valor de salvamento, conductividad, tendencia a la oxidación, características térmicas y reacción química con aislamiento. En general, los materiales que destacan por ser buenos conductores de la electricidad y relativamente baratos son el cobre y el aluminio, las ventajas del cobre sobre el aluminio son considerables, sin embargo, el aluminio es bastante más ligero que el cobre, esto ha hecho que tenga mayor aplicación en líneas aéreas, mientras que para cables subterráneos es más conveniente el uso del cobre ya que para la misma capacidad de conducción de corriente, el volumen del aluminio es mucho mayor.
- **Aislamiento:** Un material aislante es aquel que debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente ligados a sus núcleos, no permiten su fácil desplazamiento. Este depende del tipo de instalación en la que se colocara el conductor.
- **Área transversal:** El área transversal del conductor se le denomina calibre del conductor, en donde se emplean dos escalas para su designación:
 - La **AWG** (American Wire Gauge), que emplea calibres que van del 36 AWG al 1 AWG (la Nom-001-SEDE-2005 utiliza del calibre 18 AWG al 1 AWG) y del 1/0 AWG al 4/0 AWG. Para conductores más gruesos que los anteriores se emplea la C: M (Circular Mil) que representa el área de un círculo de “Un Mil “(unidad de longitud igual a un milésimo de pulgada de diámetro). Para secciones grandes se usa el “MCM” que equivale a Mil Circular Mil.
 - La **Milimétrica** que fue aprobada internacionalmente por la IEC (International Electrotechnical Commission) que consiste en nombrar la medida del conductor por los milímetros cuadrados de su área; el uso de esta escala tiende a desplazar a la AWG.

La NOM-001- SEDE-2005 maneja tanto el sistema norteamericano como su equivalencia en mm^2 . Es conveniente notar que en el sistema AWG, a medida que el número de designación es más grande la sección del conductor es menor.

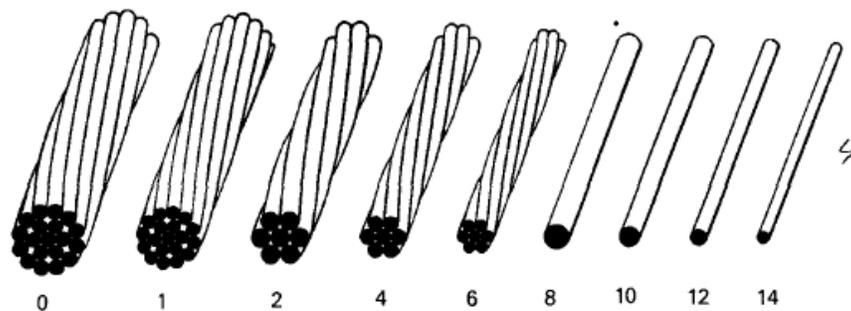


Imagen 3.18. Calibre de conductores desnudos designación AWG



CAPITULO 4

DISEÑO ELECTRICO DE EDIFICIOS DE LA UNIDAD HABITACIONAL

El aumento progresivo del consumo eléctrico, obliga a establecer exigencias y especificaciones rigurosas, que garanticen:

- a) La seguridad de las personas
- b) El buen funcionamiento de las instalaciones
- c) La fiabilidad y la calidad de los suministros

Se pueden considerar instalaciones de viviendas aquellas que tienen como finalidad la utilización de la energía eléctrica para el consumo doméstico.

En este sentido podemos considerar el máximo equilibrio de las cargas que soportan los distintos conductores que forman parte de la instalación y se debe subdividir en secciones para que las fallas que puedan producirse afecten a una mínima parte de la instalación, permitiendo localizarlas y corregirlas lo más pronto posible, facilitando el control de la instalación.

4.1 Balanceo de Carga

El desbalance entre fases puede incrementar las pérdidas por efecto Joule en los sistemas de energía eléctrica.

Debido a la naturaleza aleatoria de la carga, los sistemas de distribución tienen una altísima probabilidad de estar sometidos a cargas desbalanceadas. No obstante, siempre se busca hacer un análisis matemático con el propósito de que el sistema esté lo más balanceado posible.

Para realizar el balanceo de cargas de los quince edificios dentro de la unidad habitacional, se considera como ejemplo sólo uno, ya que todos son iguales en carga instalada y demanda máxima individual.

En base a que la alimentación a un edificio es trifásica, se tratará de equilibrar la demanda de la carga a cada fase de la alimentación.

Las demandas son las siguientes:

TIPOS DE CARGA	DEMANDA POR CONCEPTO(W)	Nº Elementos	WATTS TOTALES
DEPARTAMENTOS GRANDES	2900	10	29,000
DEPARTAMENTOS PEQUEÑOS	2200	10	22,000
MOTOR TRIFASICO	746	1	746
ILUMINACION INTERIOR EN AREAS COMUNES	378	1	378
TOTAL(W)			52,124

Tabla 4.1. Demanda total por edificio



Para el caso de los departamentos, se propone distribuirlos en cada una de las fases de la siguiente manera:

	N° DEPTOS GRANDES	N° DEPTOS CHICOS
FASE A	5	1
FASE B	3	4
FASE C	2	5

Tabla 4.1.1. Alimentación de departamentos por Fase

TIPOS DE CARGA	DEMANDA MAXIMA INDIVIDUAL POR CONCEPTO(W)	BALANCEO DE CARGAS		
		FASE A	FASE B	FASE C
DEPARTAMENTOS GRANDES	2900	14,500	8,700	5,800
DEPARTAMENTOS PEQUEÑOS	2200	2200	8,800	11,000
MOTOR TRIFASICO	746	248.5	248.5	248.5
ILUMINACION INTERIOR EN AREAS COMUNES	378	126	126	126
TOTAL(W)		17,075	17,875	17,175

Tabla 4.2. Balanceo de departamentos por fase considerando demandas máximas individuales

En la bomba e iluminación la carga total se repartió en cada fase por partes iguales.

Obteniendo un desbalance entre fases de:

$$\begin{aligned}
 \text{Desbalance entre fases} &= \frac{\text{Carga mayor} - \text{Carga menor}}{\text{Carga mayor}} \times 100 \\
 &= \frac{17,874.5 [W] - 17,074.5 [W]}{17,874.5 [W]} \times 100 = 4.47\%
 \end{aligned}$$

La norma indica que el porcentaje de desbalance no debe ser mayor al 5%, por lo que se cumple con lo establecido.

Si se considera la suma de las demandas máximas individuales de cada carga (departamentos, iluminación interior en áreas comunes y bomba de agua), por fase se tendrían las siguientes corrientes:

$$I_{\text{fase A}} = \frac{17,074.5 [W]}{127 [V] * 0.9} = 149.38 [A]$$

$$I_{\text{fase B}} = \frac{17,874.5 [W]}{127 [V] * 0.9} = 156.38 [A]$$

$$I_{\text{fase C}} = \frac{17,174.5 [W]}{127 [V] * 0.9} = 150.25 [A]$$



4.2 Método para la Selección del Calibre del Conductor

La transmisión de energía eléctrica en forma segura y eficiente depende de una correcta selección del calibre del conductor.

La selección de los conductores se inicia determinando el tipo de producto en función de las condiciones de operación, es decir, si se habrá de utilizar en intemperie, dentro de una canalización, para clima tropical, medio ambiente altamente contaminado, sumergido en agua, directamente enterrado, o bien para que soporte la acción de productos químicos, etc.

Para la correcta selección del conductor se deben considerar diferentes factores, tanto de orden técnico como económico, con el objeto de garantizar la operación confiable y la eficacia económica del proyecto eléctrico.

En la práctica los conductores se deben seleccionar teniendo en cuenta los siguientes puntos

- Capacidad de Conducción de Corriente
- Factores de Corrección
- Caída de tensión

4.2.1 Selección del Calibre del Conductor por Capacidad de Conducción de Corriente

La capacidad de conducción de corriente expresada en amperes (A), es aquella corriente que un conductor eléctrico puede conducir continuamente, bajo condiciones de uso normal, sin exceder su temperatura nominal.

A continuación se indica cómo calcular la capacidad de conducción de corriente para conductores eléctricos en tubería conduit de acuerdo con la norma de instalaciones eléctricas NOM-001-SEDE-2012, la cual no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

- 1) Elegir el tipo de producto requerido en función de su aplicación, materiales, construcción y temperatura del conductor.
- 2) Calcular la capacidad de conducción de corriente del conductor con la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad de conducción de corriente} = 125\% I \text{ continua} + 100\% I \text{ no continúa}$$

I continua: Aquella cuya corriente eléctrica nominal circule durante tres horas o más.

I no continua: Aquella cuya corriente eléctrica nominal circule menos de tres horas.

Regularmente se considera como carga continua los motores.

Para conductores que alimenten un solo motor, dicho motor se considerará como carga continua, por lo que su corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1.25 (Artículo 430-22).

NOTA: La corriente nominal de los motores se obtendrá de la Tabla 430-248 para el caso de motores monofásicos de c.a. y de la 430-250 para motores trifásicos de c.a.



En el caso de varios motores, solo el motor más grande se considera como carga continua, y los demás motores como carga no continua, por lo que la corriente nominal del motor más grande se multiplicará por 1,25 (Artículo 430-24).

- 3) Seleccionar el calibre del conductor de acuerdo a la capacidad de conducción de corriente del cable, que depende del tipo del aislamiento, temperatura de operación y método de instalación, utilizando la Tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012.

NOTA: De acuerdo al Artículo 110-14 inciso 1 punto b de la NOM-001-SEDE-2012, si la corriente en el circuito es mayor a 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C. Si la corriente del circuito es menor de 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 60°C.

Tabla 310-15(b)(16) Capacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000[V] y 60°C a 90°C. No más de 3 conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en temperatura ambiente de 30°C.							
Área mm ²	Tamaño o designación AWG ó Kcmil.	Temperatura nominal del conductor [Véase tabla 310-104(a)]					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		Tipos W, UF	Tipos LSOH, RHW, THHW, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW.	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, LSOH, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2.	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, HWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, HH, XHHW, HHW-2, ZW-2.
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE.				
0.824	18"			14	-	-	-
1.31	16"			18	-	-	-
2.08	14"	15	20	25	-	-	-
3.31	12"	20	25	30	-	-	-
5.26	10"	30	35	40	-	-	-
8.37	8	40	50	55	-	-	-
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85



33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205

Tabla 4.3. Capacidad de conducción de corriente NOM 001-SEDE-2012

4.2.2 Verificación del Calibre del Conductor Aplicando Factores de Corrección (Agrupamiento y Temperatura)

La Tabla 310-15 (b) (16) nos otorga los valores de la capacidad de conducción de corriente del conductor bajo una condición de temperatura ambiente de 30°C y que no haya más de tres conductores portadores de corriente en la canalización, si uno de estos dos factores cambia, la capacidad de conducción se verá afectada; es decir, el conductor no tendrá la misma capacidad de conducción a una temperatura de 30°C que a una temperatura de 40°C, así como si se encuentran más de tres conductores portadores de corriente dentro de un misma canalización.

a) Factor de Temperatura.

Si la temperatura ambiente del lugar de instalación del conductor es diferente a 30°C, la capacidad de conducción de corriente obtenida de la Tabla 310-15(b)(16) se debe multiplicar por el factor de corrección que se indica en la Tabla 4 (obtenida de la Tabla 310-15(b)(2)(a) de la NOM-001-SEDE-2012). El artículo 110-14 de la NOM-001-SEDE-2012 antes mencionado es también aplicado.

Tabla 310-15(b)(2)(a) Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 30°C.			
Para temp. ambiente distintas de 30°C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60°C	75°C	90°C
10 ó menos	1.29	1.20	1.15
11 – 15	1.22	1.15	1.12
16 – 20	1.15	1.11	1.08
21 – 25	1.08	1.05	1.04
26 – 30	1.00	1.00	1.00
31 – 35	0.91	0.94	0.96
36 – 40	0.82	0.88	0.91
41 – 45	0.71	0.82	0.87
46 – 50	0.58	0.75	0.82
51 – 55	0.41	0.67	0.76
56 – 60	-	0.58	0.71
61 -65	-	0.47	0.65
66 – 77	-	0.33	0.58
91 – 75	-	-	0.50
76 – 80	-	-	0.41
81 – 85	-	-	0.29

Tabla 4.4. Factor de corrección por temperatura.



b) Factor de Agrupamiento.

Si existen más de 3 conductores en tubería (conduit) portadores de corriente, se debe corregir la capacidad de conducción de corriente de la tabla 310-15 (b)16, multiplicando esta capacidad por los factores de la Tabla 5 (obtenida de la Tabla 310-15(b)(3)(a) de la NOM-001-SEDE-2012).

Cantidad de conductores portadores de corriente eléctrica	Factor de corrección por agrupamiento
De 4 a 6	0.8
De 7 a 9	0.7
De 10 a 20	0.5
De 21 a 30	0.45
De 31 a 40	0.4
De 41 y más	0.35

Tabla 4.5. Factor de corrección por agrupamiento.

4.3 Caída de Tensión

La tensión en las terminales de la carga es por lo general menor que la tensión de alimentación, la diferencia entre estos dos puntos se conoce como: “caída de tensión”. Las normas técnicas para instalaciones eléctricas recomiendan que la máxima caída de tensión (desde la alimentación hasta la carga), no debe exceder al 5%.

Una caída de tensión excesiva (mayor del 5%) conduce a resultados indeseables. Como ejemplos en las lámparas incandescentes se reduce notablemente el nivel de iluminación; en las lámparas fluorescentes se tienen problemas como dificultad para arrancar, parpadeo, calentamiento de los balastos, etc; en el equipo de control, los relevadores pueden no operar; en los motores la reducción de tensión se traduce en sobrecalentamiento y algunas veces causa problemas de arranque. Por esta razón, no es suficiente calcular el calibre de los conductores por capacidad de conducción de corriente, sino también por el método de caída de tensión.

Para asegurar que las caídas de tensión no excedan lo establecido, es necesario calcularlas en todos los circuitos derivados y en los alimentadores de la instalación eléctrica.

A continuación se muestran las fórmulas para calcular la caída de tensión para circuitos monofásicos y trifásicos:

Circuito Monofásico

$$e\% = \frac{2ZLI * 100}{V_0 * 1000}$$

Ecuación1. Caída de tensión monofásica.

Circuito a dos fases

$$e\% = \frac{2ZLI * 100}{V_{ff} * 1000}$$

Ecuación2. Caída de tensión a dos fases.

Circuito a tres fases

$$e\% = \frac{\sqrt{3}ZLI * 100}{V_{ff} * 1000}$$

Ecuación3. Caída de tensión a tres fases.

donde:

$e\%$ = Caída de tensión en el conductor, en %

I = Corriente eléctrica que circula a través del conductor (Corriente Nominal) en [A]

L = Longitud total del circuito, en [m]

V_0 = Tensión de fase a neutro, en [V]



V_{ff} = Tensión entre fases, en [V]

Z = Impedancia eléctrica del cable, en [Ω /km]

La impedancia eléctrica del cable Z , expresada en [Ω /km], está dada por la siguiente fórmula:

$$Z = R \cos \theta + X_L \text{ Sen } \theta$$

donde:

R = Resistencia del conductor a la c.a. y a la temperatura de operación, en [Ω /km]

X_L = Reactancia inductiva del conductor, en [Ω /km]

$\cos \theta$ = f.p.

$$\cos \theta = .9$$

Despejando θ ;

$$\theta = \cos^{-1}(.9) = 25.84$$

Sustituyendo θ ;

$$\text{sen } \theta = \text{sen}(25.84)$$

$$\text{sen } \theta = .43$$

Las ecuaciones finales quedan de la siguiente forma:

Circuitos Monofásicos

$$e\% = \frac{2LI100(R \cos \theta + X_L \text{ Sen } \theta)}{V_0 * 1000}$$

Circuitos a dos fases

$$e\% = \frac{2LI100(R \cos \theta + X_L \text{ Sen } \theta)}{V_{ff} * 1000}$$

Circuitos a tres fases

$$e\% = \frac{\sqrt{3}LI100(R \cos \theta + X_L \text{ Sen } \theta)}{V_{ff} * 1000}$$

De la tabla 4.6 se obtienen los valores tanto de R como de X_L , dependiendo del calibre del conductor a utilizar.

La NOM-001-SEDE-2012 indica que la caída de tensión máxima permitida en una instalación eléctrica considerando los conductores del circuito alimentador y del circuito derivado, no debe ser mayor del 5%.

Para el caso del circuito derivado la caída de tensión no deberá ser mayor de 3% y debe considerarse una caída de tensión máxima de 2% para el circuito alimentador. Si la caída de tensión resultante del cálculo es mayor a lo anterior, debemos considerar un calibre mayor, volver a realizar los cálculos y verificar que se cumplan los porcentajes de caída de tensión establecidos.

Las Normas de CFE establecen que el valor máximo de caída de tensión para los circuitos de baja tensión no debe exceder del 3% para sistemas monofásicos y del 5% para trifásicos, desde la fuente hasta el registro más lejano, es decir desde el transformador hasta la salida más lejana (contacto).



NOTA: En la presente Tesis se considera una caída máxima del 2%, tanto para alimentadores como derivados, con la intensión de que la suma de las caídas de tensión no excedan el 5%.

Área mm ²	Tamaño (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro															
		X _c (Reactancia) para todos los alambres			Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a FP = 0.85 para alambres de aluminio						
		Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de Aluminio	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero		
2.08	14	0.190	0.240	10.2	10.2	—	—	8.9	8.9	—	—	—	—	8.9	8.9	—	—
3.31	12	0.177	0.223	6.6	6.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	5.6	5.6	5.6	5.6	9.2	9.2
5.26	10	0.164	0.207	3.9	3.9	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	3.6	3.6	3.6	3.6	5.9	5.9
8.36	8	0.171	0.213	2.56	2.56	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	2.26	2.26	2.26	2.26	3.6	3.6
13.30	6	0.167	0.210	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	1.44	1.44	1.48	1.48	2.33	2.36
21.15	4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	0.95	0.95	0.98	0.98	1.51	1.51
26.67	3	0.154	0.194	0.82	0.82	1.31	1.31	1.35	1.35	1.31	1.31	0.75	0.75	0.79	0.79	1.21	1.21
33.62	2	0.148	0.187	0.62	0.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.62	0.62	0.66	0.66	0.98	0.98
42.41	1	0.151	0.187	0.49	0.52	0.82	0.82	0.85	0.82	0.82	0.82	0.52	0.52	0.52	0.52	0.79	0.82
53.49	1/0	0.144	0.180	0.39	0.43	0.66	0.66	0.69	0.66	0.66	0.66	0.43	0.43	0.43	0.43	0.62	0.66
67.43	2/0	0.141	0.177	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.36	0.36	0.36	0.36	0.52	0.52
85.01	3/0	0.138	0.171	0.253	0.269	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.289	0.302	0.308	0.308	0.43	0.46
107.2	4/0	0.135	0.167	0.203	0.220	0.33	0.33	0.36	0.33	0.33	0.33	0.243	0.256	0.262	0.262	0.36	0.36
127	250	0.135	0.171	0.171	0.187	0.279	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.217	0.230	0.240	0.240	0.308	0.33
152	300	0.135	0.167	0.144	0.161	0.233	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.194	0.207	0.213	0.213	0.269	0.289
177	350	0.131	0.164	0.125	0.141	0.200	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.174	0.190	0.197	0.197	0.240	0.262
203	400	0.131	0.161	0.108	0.125	0.177	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.161	0.174	0.184	0.184	0.233	0.240
253	500	0.128	0.157	0.089	0.105	0.141	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.141	0.157	0.164	0.164	0.200	0.210
304	600	0.128	0.157	0.075	0.092	0.118	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.131	0.144	0.154	0.154	0.180	0.190
380	750	0.125	0.157	0.062	0.079	0.095	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.118	0.131	0.141	0.148	0.161	0.171
507	1000	0.121	0.151	0.049	0.062	0.075	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.105	0.118	0.131	0.138	0.151	0.151

Tabla 4.6. Resistencia, reactancia, impedancia para conductores de cobre a 600 [V] C.A. En tubo conduit a 75°C en [Ω/km].



4.4 Protección contra Sobrecarga

Los conductores de circuitos alimentadores, derivados y equipos deben estar protegidos mediante dispositivos eléctricos contra sobre corriente. Además, la protección de motores es una función esencial para asegurar la continuidad del funcionamiento de las máquinas. Es por ello que se puntualizará el método para calcular la capacidad del interruptor contra sobre corriente que se colocará en cada uno de los circuitos.

Las sobrecargas en los motores eléctricos pueden aparecer por exceso de trabajo de los mismos, desgaste de piezas, fallos de aislamiento en los embobinados o bien por falta de una fase. Para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos se hace uso de los fusibles y los interruptores termo magnéticos.

Los interruptores termo magnéticos en motores deben ser capaces de interrumpir y restablecer el flujo de corriente de cada fase al mismo tiempo, para evitar desbalanceo y sobre carga en los embobinados del mismo.

Existen principalmente dos tipos de dispositivos que sirven para la protección de los circuitos.

- **Termo magnético.** Es un medio de protección y desconexión de fácil accionamiento y rápida respuesta a la falla eléctrica. Los interruptores termo magnéticos más comerciales son los de uno y tres polos, de un rango de 10 a 50 amperes y son utilizados para todo tipo de servicios de instalaciones eléctricas, principalmente de uso doméstico y comercial. Los de rango de 60 a 100 A de uno y dos polos así como los de tres polos en toda su gama, y los de mayor capacidad de amperaje son utilizados en zonas con mayor demanda de carga eléctrica para uso residencial, comercial e industrial.
- **Fusible.** Es un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por Efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

La capacidad nominal del interruptor termo magnético o fusible se selecciona al 80% de la capacidad de conducción de conductor, es decir para un conductor con capacidad de conducción de 20 [A] sería necesario conectar una protección de 16 [A], sin considerar los factores de corrección, esto con la finalidad de proteger al propio conductor.

4.5 Tamaño Nominal de los Conductores de Puesta a Tierra

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar daños en los equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son:

- Brindar seguridad a las personas.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general



De acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012, un conductor de puesta a tierra es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla a tierra.

La NOM-001 en la Tabla 250-122 establece el tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra.

TABLA 250 - 122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos				
Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin Exceder de: Amperes	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	<i>mm²</i>	AWG o kcmil	<i>mm²</i>	AWG o kcmil
15	2.08	14	3.31	-
20	3.31	12	5.26	-
60	5.26	10	8.37	-
100	8.37	8	13.3	6
200	13.3	6	21.2	4
300	21.2	4	33.6	2
400	33.6	2	42.4	1
500	33.6	2	53.5	1/0
600	42.4	1	67.4	2/0
800	53.5	1/0	85	3/0
1000	67.4	2/0	107	4/0
1200	85	3/0	127	250
1600	107	4/0	177	350
2000	127	250	203	400
2500	177	350	304	600
3000	203	400	304	600
4000	253	500	380	750
5000	355	700	608	1200
6000	405	800	608	1200

Tabla 4.7. Conductores de Puesta a Tierra Tabla 250–122 de la NOM-001-SEDE-2012

4.6 Canalizaciones

Según la NOM-001 una canalización es un canal cerrado de materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener y proteger alambre, cables o barras conductoras usados en las instalaciones eléctricas.

Para iniciar con el cálculo del diámetro de la canalización a utilizar, primero se debe revisar la Tabla 1 del Capítulo 10 de la NOM-001. Esta tabla indica los factores de relleno en tubo conduit; es decir da el porcentaje del área de la sección transversal interior total del tubo conduit que puede ser utilizada dependiendo del número de conductores que éste aloje.



Número de conductores	Uno	Dos	Más de dos
Todos los tipos de conductores	53	31	40

Tabla 4.8. Factores de relleno en tubo conduit

La Tabla 5 de la NOM-001 otorga el área del conductor según su aislamiento (Área Aprox. mm²) y para el caso del conductor de puesta a tierra que será desnudo también proporciona su área (mm²).

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF				
TW, THHW, THW, THW-2	3.31	12	3.861	11.68
	5.26	10	4.47	55.68
	6.63	8	5.994	28.19
	8.37	6	7.722	46.84
	21.2	4	8.941	62.77
	26.7	3	9.652	73.16
	33.6	2	10.46	86
	42.4	1	12.5	122.6
	53.5	1/0	13.51	143.4
	67.4	2/0	14.68	169.3
	85	3/0	16	201.1
TW, THHW, THW, THW-2, RHH*, RHW*, RHW-2*	107	4/0	17.48	239.9
	127	250	19.43	296.5
	152	300	20.83	340.7
	177	350	22.12	384.4
	203	400	23.32	427
	253	500	25.48	509.7
	304	600	28.27	627.7
	355	700	30.07	710.3
	380	750	30.94	751.7
	405	800	31.75	791.7
	456	900	33.38	874.9
	507	1000	34.85	953.8
	633	1250	39.09	1200
	760	1500	42.21	1400
	887	1750	45.1	1598
	1013	2000	47.8	1795

Tabla 4.9. Dimensiones de los conductores aislados.



Para la selección del diámetro de la canalización se debe de realizar la suma de la sección transversal de cada uno de los conductores contenidos en la canalización, considerando su tipo de aislamiento.

Para finalizar, tomando el área total en mm² utilizada por todos los conductores, revisaremos la Tabla 4 de la NOM-001 para determinar la dimensión de la canalización a utilizar.

Artículo 342 - Tubo Conduit metálico semipesado (IMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
12	3/8	-	-	-	-	-	-
16	1/2	16.8	222	133	117	69	89
21	3/4	21.9	377	226	200	117	151
27	1	28.1	620	372	329	192	248
35	1 1/4	36.8	1064	638	564	330	425
41	1 1/2	42.7	1432	859	759	444	573
53	2	54.6	2341	1405	1241	726	937
63	2 1/2	64.9	3308	1985	1753	1026	1323
78	3	80.7	5115	3069	2711	1586	2046
91	3 1/2	93.2	6822	4093	3616	2115	2729
103	4	105.4	8725	5235	4624	2705	3490

Tabla 4.10. Dimensiones del tubo conduit metálico semipesado.

4.7 Selección de Elementos Eléctricos Dentro de un Edificio (Circuitos Derivados)

Siguiendo la metodología antes descrita comenzaremos con el cálculo y selección de los elementos eléctricos necesarios para los circuitos derivados 1 y 2 que se encuentran dentro del edificio, ver Imagen 4.2.

De acuerdo a la definición de la NOM-001-SEDE-2012 un circuito derivado es aquel conductor o conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobre corriente que protege a ese circuito hasta la o las salidas.

Para el caso de cada uno de los edificios se considera como circuito derivado 1 a los conductores que van del centro de concentración de medidores hasta las protecciones que se encuentran dentro de cada departamento (Tablero). El circuito derivado 2 consta de dos circuitos para contactos e iluminación por Departamento.



El conductor que se utilizara para la alimentación dentro de los edificios es el THW-LS (ThermoplasticHeat and WaterResistantLowSmoke) con clase térmica de 75°C; ya que la NOM-001-SEDE-2012 permite su aplicación en circuitos de potencia y alumbrado en instalaciones residenciales, industriales y comerciales en donde se requiera seguridad en condiciones de incendio.



Imagen 4.1. Cable THW-LS clase térmica de 75°C.

La imagen 4.2 ejemplifica el Sistema de Distribución para un Edificio donde se indican los conductores que representan el circuito Alimentador y los circuitos Derivados.

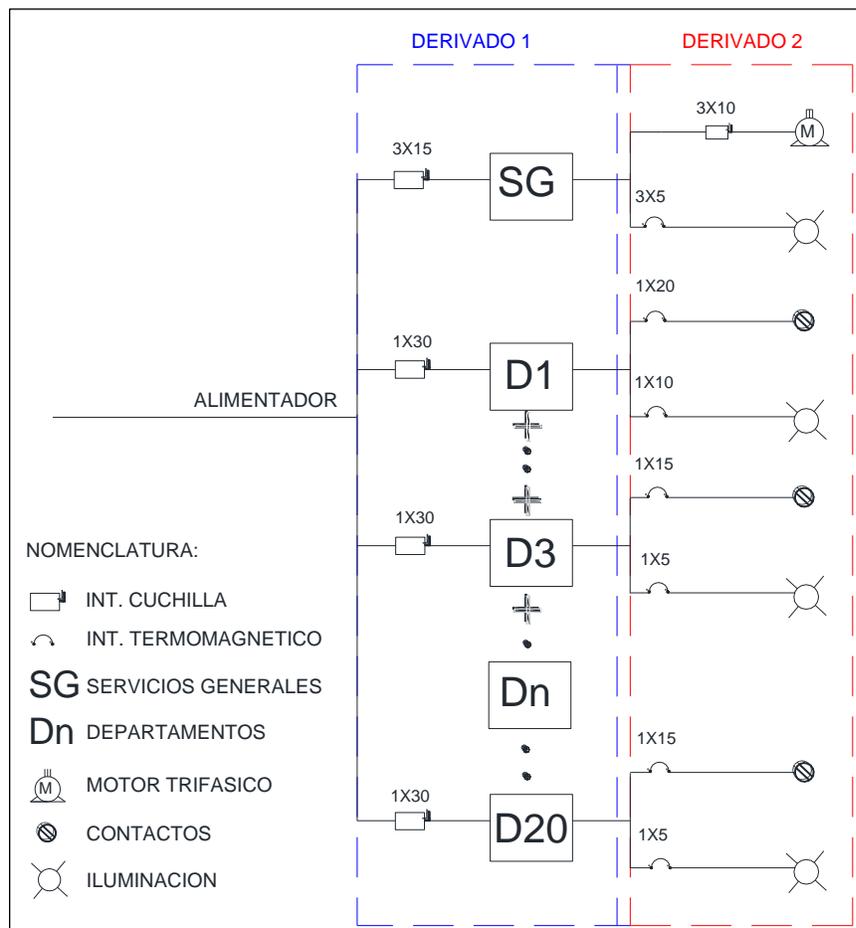


Imagen 4.2. Circuito alimentador y derivados del Edificio.



4.7.1 Selección de Elementos Eléctricos Circuitos Derivados 1

Retomando la información obtenida en el Capítulo 2, las demandas obtenidas son de 2200 [W] y de 2900 [W] para los departamentos chicos para grandes respectivamente, en ambos casos se considera una carga no continua.

▪ Selección del Calibre del Conductor

Departamentos Chicos

Los cálculos siguientes (elementos eléctricos) se realizarán para departamentos del quinto nivel para así obtener la caída de tensión en la carga más lejana, sin embargo se anexará la tabla correspondiente con los valores y elementos obtenidos para los niveles restantes.

Calculando la corriente nominal para los Departamento Chicos

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * f. p.}$$

$$I_n = \frac{2200[W]}{127[V] * 0.9} = \boxed{19.24 [A]}$$

Con la corriente nominal obtenida de 19.24 [A] y revisando en la tabla 4.3 (310-15(b)(16) de la NOM-001) *el conductor adecuado es 12 AWG ya que es capaz de conducir hasta 20 [A]*, sin embargo aún es necesario considerar los factores de corrección (Agrupamiento y Temperatura).

Factores de Corrección

La temperatura que se considera es de 25°C, (temperatura ambiente promedio en el Distrito Federal). Ahora bien, para el factor de Agrupamiento debemos conocer el número de conductores portadores de corriente que se colocaran en la canalización.

En la tabla 4.2 se realizó el balanceo de las fases, basándose en ella se realiza una nueva tabla (tabla 4.11) que indique qué departamentos serán alimentados por cada fase con la finalidad de conocer el número de conductores alojados en la canalización que llega a cada nivel.

NIVELES	DEPARTAMENTOS			
	GRANDE	GRANDE	CHICO	CHICO
1	A	B	C	B
2	A	B	C	B
3	A	B	C	B
4	A	C	C	B
5	A	C	C	A

Tabla 4.11. Alimentación de departamentos por fase.

La canalización que llegará al quinto nivel aloja 8 conductores portadores de corriente (las cuatro fases de cada departamento y un neutro por cada fase), así como dos conductores de puesta a tierra, uno para departamentos chicos y otro para departamentos grandes (no se consideran portadores de corriente).

El factor de corrección por Temperatura (FT) se obtiene de la tabla 4.4, considerando una temperatura de 25°C. El factor de corrección por Agrupamiento (FA) lo obtenemos de la tabla 4.5, considerando 8 conductores portadores de corriente.



$$FT=1.05 \quad FA=.7$$

$$In = 19.24 \text{ [A]}$$

Consultando la tabla 4.3 (Selección del calibre del conductor de acuerdo con su capacidad de conducción) y la nota del punto 3 (circuito menor a 100 [A]), se consideran los valores de capacidad de conducción de corriente a una temperatura de operación del conductor de 60°C.

Por lo tanto se selecciona el calibre 12 AWG con capacidad de conducción de 20 [A].

$$In * FT * FA = I_{\text{corregida}}$$

$$20[\text{A}] * 1.05 * .7 = 14.7 \text{ [A]}$$

Debido a FT y FA la capacidad de conducción del calibre 12 AWG disminuye de 20[A] a 14.7 [A], es por esta razón que se elige un calibre mayor, para conducir la corriente de 19.24 [A].

Capacidad de conducción calibre 10 AWG=30[A]

$$30[\text{A}] * 1.05 * .7 = 22.05 \text{ [A]}$$

El calibre 10 AWG es el conductor seleccionado, ya que puede conducir hasta 22.05 [A].

Como podemos observar los factores de corrección modifican la capacidad de conducción del conductor.

Caída de Tensión

La caída de tensión no debe superar el 2% para circuitos derivados. La ecuación para calcular la caída de tensión en un sistema monofásico es la siguiente:

$$e\% = \frac{2InL100(R\cos\theta + X\text{sen}\theta)}{V_{fn} * 1000}$$

La distancia del medidor al departamento es de 20 metros. Los valores de R y de X_L se obtienen de la tabla 4.6, estos dependerán del calibre del conductor seleccionado y de la canalización a utilizar, calibre 10 AWG y conduit metálico semipesado (IMC).

$$R=3.9 \text{ [\Omega/Km]} \quad X_L = .207 \text{ [\Omega/Km]}$$

$$e\% = \frac{2 * 19.24 \text{ [A]} * 20 \text{ [m]} * 100((3.9 \text{ [\Omega/Km]} * .9) + (.207 \text{ [\Omega/Km]} * .43))}{127 \text{ [V]} * 1000} = 2.18\%$$

El porcentaje es mayor que el 2% por lo que probaremos con el calibre 8 AWG.

$$R=2.56 \text{ [\Omega/Km]} \quad X_L = .213 \text{ [\Omega/Km]}$$

$$e\% = \frac{2 * 19.24 \text{ [A]} * 20 \text{ [m]} * 100((2.56 \text{ [\Omega/Km]} * .9) + (.213 \text{ [\Omega/Km]} * .43))}{127 \text{ [V]} * 1000} = 1.45\%$$

Como podemos observar el calibre que inicialmente se escogió fue 12 AWG, sin embargo después de aplicar los factores de corrección y verificar la caída de tensión fue necesario aumentar el calibre del conductor a 8 AWG, que es capaz de conducir hasta 40 [A] en la columna de 60 °C.



Departamentos Grandes

La selección del calibre del conductor para los departamentos grandes en el mismo nivel, es de la misma forma que para los departamentos chicos, por lo que los cálculos se harán sin necesidad de mayores especificaciones.

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * f. p.}$$

$$I_n = \frac{2900 [W]}{127 [V] * 0.9} = \boxed{25.37 [A]}$$

Factores de Corrección

$$F_T=1.05 \quad F_A=.7$$

El calibre 10 AWG es capaz de conducir hasta 30 [A] es por ello que es el calibre inicialmente seleccionado ya que nuestra corriente es de 25.37 [A].

$$\text{Capacidad de conducción calibre 10 AWG}=30[A]$$

$$30[A]*1.08*.7=22.68 [A]$$

Se incrementa el calibre a un 8 AWG.

$$\text{Capacidad de conducción calibre 8 AWG}=40[A]$$

$$40[A]*1.08*.7=30.24 [A]$$

Se elige el calibre 8 AWG.

Caída de Tensión

Ahora se comprueba por caída de tensión, no puede ser mayor al 2%. Para un calibre 8 AWG

$$e\% = \frac{2I_n L 100 (R \cos\theta + X \sin\theta)}{V_{fn} * 1000}$$

$$R=2.56 [\Omega/Km] \quad X_L = .213 [\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{2 * 25.37[A] * 20[m] * 100((2.56[\Omega/Km] * .9) + (.213[\Omega/Km] * .43))}{127[V] * 1000} = 1.91\%$$

A pesar de que el porcentaje es menor al 2%, recordemos que el porcentaje de caída de tensión desde los transformadores hasta el último registro no puede superar el 5%. Trataremos de disminuir este porcentaje de 1.91% esto con el propósito de no tener que compensar calibres en los alimentadores que van del transformador al centro de concentración de medidores en cada edificio, ya que estos conductores son de mayor calibre y por lo tanto resultaría más costoso modificar su calibre. Ahora se elige un calibre 6 AWG, por lo que se tiene:

$$R=1.61 [\Omega/Km] \quad X_L = .210 [\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{2 * 25.37[A] * 20[m] * 100((1.61[\Omega/Km] * .9) + (.210[\Omega/Km] * .43))}{127[V] * 1000} = 1.23\%$$

El conductor de calibre 6 AWG es el elegido para alimentar los departamentos grandes en el quinto Nivel.



La demanda en todos los departamentos chicos al igual que en los departamentos grandes es la misma, eso nos haría pensar que utilizaremos siempre el calibre 8 AWG para alimentar todo el edificio, pero no tenemos que olvidar que en la fórmula de la caída de tensión influye la distancia, por este motivo se tendrá que calcular la caída de tensión en cada nivel, como el procedimiento es el mismo sólo nos dedicaremos a colocar los valores de calibre obtenido en cada nivel (ver tabla 4.12).

El porcentaje de caída de tensión es un factor muy importante en la elección de los conductores, así que a manera de resumen se colocan las caídas de tensión obtenidas para cada nivel de los circuitos derivados 1 (ver tabla 4.13).

Nivel	Distancia(m)	Calibre (AWG)			
		GRANDE	GRANDE	CHICO	CHICO
1	8	8	8	10	10
2	11	8	8	10	10
3	14	8	8	10	10
4	17	8	8	8	8
5	20	6	6	8	8

Tabla 4.12. Calibre del conductor Circuito Alimentador.

Nivel	Distancia(m)	Caída de Tensión (e%)	
		Grande	Chico
1	8	0.77	0.87
2	11	1.05	1.20
3	14	1.34	1.53
4	17	1.63	1.23
5	20	1.23	1.45

Tabla 4.13. Porcentaje de Caída de tensión.

▪ Protección Contra Sobrecarga

Departamentos Chicos

En circuito derivado 1 se eligió un conductor 8 AWG que tiene una capacidad de 40 [A]. Utilizando un 80% de esta capacidad:

Calculando la protección para los departamentos chicos:

$$40[A] \cdot 0.8 = 32 [A]$$

Las Normas de CFE establecen que deben colocarse protecciones de 30 [A] después del medidor, es por esto que todas las protecciones después del medidor llevarán fusibles de 30[A].

La protección a emplear es una caja de fusibles de 30[A], se selecciona la capacidad del interruptor más cercana.



Departamentos Grandes

Para los departamentos grandes en el quinto nivel se colocaron conductores calibre 6 AWG con una capacidad de conducción de 55[A].

$$55[A] \cdot 0.8 = 44[A]$$

Puede pensarse que las protecciones a colocar son de 40 [A], pero la demanda máxima en estos departamentos es de 25.37 [A].

Además, de acuerdo a CFE, deben colocarse protecciones de 30 [A]. Se eligen por tanto fusibles de 30 [A].

▪ **Tamaño Nominal de los Conductores de Puesta a Tierra**

Es el momento de calcular los conductores de puesta a tierra. De la tabla 4.7 se observa que es necesario conocer la capacidad del dispositivo de protección contra sobre corriente en el circuito para determinar el calibre de conductor de puesta a tierra. En ambos tipos departamentos se ha seleccionado fusibles de 30[A], es por ello que se coloca un conductor de puesta a tierra de *calibre 10 AWG*.

Sin embargo, es necesario regresar al análisis y revisar el cálculo de la caída de tensión.

Departamentos Chicos

Para los departamentos chicos antes del cálculo de la caída de tensión el calibre elegido era de 10 AWG y después de este se eligió un calibre de 8 AWG, lo que significa que se compensó un calibre, este mismo calibre debe ser compensado en el conductor de puesta a tierra. Es decir de la tabla 4.7 se selecciona un conductor con calibre de 10 AWG, sin embargo al compensar ese calibre el conductor de puesta a tierra el calibre resultante es 8 AWG.

Departamentos Grandes

Se sigue el mismo método. En este caso el calibre que inicialmente se escogió fue el 8 AWG, con la caída de tensión se compensó un calibre, por lo tanto el conductor de puesta a tierra también es compensado. La protección para estos departamentos sigue siendo de 30[A]; por lo cual de la tabla 250-122 de la NOM-001 seleccionaríamos un conductor de calibre 10 AWG y compensando un calibre resulta un conductor de puesta a tierra de calibre 8 AWG.

A continuación los conductores de puesta a tierra para el resto de los niveles del edificio.

Nivel	Calibre (AWG) Desnudo			
	GRANDE	GRANDE	CHICO	CHICO
1	10	10	10	10
2	10	10	10	10
3	10	10	10	10
4	10	10	8	8
5	8	8	8	8

Tabla 4.14. Conductores de Puesta a Tierra Circuito Alimentador



▪ Canalizaciones

El tipo de canalización para la instalación eléctrica dentro de cada uno de los edificios, será el tubo conduit metálico tipo semipesado.

Retomando el diseño de la instalación eléctrica de la unidad habitacional en el edificio, existen 10 conductores en la canalización que llega hasta el quinto nivel. Lo que se debe de realizar es la suma de la sección transversal de todos los conductores contenidos en la canalización, considerando su tipo de aislamiento.

En la tabla 4.15 se observan los conductores que lleva la canalización. En el quinto y cuarto nivel se utilizan dos conductores desnudos ya que para cada tipo de departamento el calibre del conductor es diferente, sin embargo para los niveles restantes el conductor de puesta a tierra es del mismo calibre, entonces se coloca un solo conductor en la canalización para dichos niveles.

Tomando el área total en mm^2 que ocupan todos los conductores, se revisa la tabla 4.10 para conocer la dimensión de la canalización que pueda alojar los mismos.

El área de la sección transversal de la canalización disponible para los conductores es del 40% del área total de la misma ya que es el porcentaje correspondiente para más de dos conductores. El área transversal de todos los conductores es de 313.38 mm^2 . Con estos datos se elige una canalización de 35(1-1/4) que tiene un área disponible de hasta 425 mm^2 . Para el resto de los niveles ver tabla 4.16.

NOTA: Hay una canalización por nivel, parte de la concentración de medidores hasta un registro, posterior a dicho registro se utiliza un diámetro de canalización distinto, ya que se distribuye a cada departamento de forma individual.

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro, TF tierra física)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Área del Conductor mm^2	Subtotal mm^2
Deptos Chico	4	F y N	THW-LS	8	28.19	112.76
	1	TF	Desnudo	8	6.63	6.63
Deptos Grande	4	F y N	THW-LS	6	46.84	187.36
	1	TF	Desnudo	8	6.63	6.63
					Σ total	313.38

Tabla 4.15. Área de Conductores dentro de la canalización para el 5° nivel.

Nivel	Área Transversal Total de los conductores (mm^2)	Designación Canalización
1	186.08	27(1)
2	186.08	27(1)
3	186.08	27(1)
4	237.41	35(1)
5	316.74	35(1-1/4)



Tabla 4.16. Dimensiones del tubo conduit por nivel.

4.7.2 Selección de Elementos Eléctricos Circuitos Derivados 2

De acuerdo a la imagen 4.2, los circuitos derivados 2 lo componen dos circuitos. Ambos están dentro de cada departamento. Un circuito para la carga de alumbrado y otro para contactos.

El tipo de conductor será el mismo que se utilizó en el circuito derivado 1; es decir, el THW-LS con clase térmica de 75°C, ya que se permite su aplicación en circuitos de potencia y alumbrado en instalaciones residenciales.

▪ Selección del Calibre del Conductor

Departamentos Chicos

La demanda máxima para estos departamentos es de 2200 [W] y se reparte de esta forma.

$$\begin{aligned} \text{Contactos} &= 1939 \text{ [W]} \\ \text{Iluminación} &= 261 \text{ [W]} \end{aligned}$$

Cada una de estas demandas representa un circuito derivado.

Contactos

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * f. p.}$$
$$I_n = \frac{1939 \text{ [W]}}{127[V] * 0.9} = \boxed{16.96 \text{ [A]}}$$

De la tabla 4.3 (310-15(b)(16) de la NOM 001) se elige un conductor calibre 12 AWG ya que es capaz de conducir hasta 20 [A].

Factores de Corrección

Dentro de la canalización solo se colocaran dos conductores portadores de corriente (fase y neutro) y el conductor de Tierra Física, por lo que el factor por agrupamiento es de 1. Para el caso del factor de temperatura, la temperatura ambiente sigue siendo de 25°C.

$$F.A.=1 \quad F.T.=1.05$$

$$\text{Capacidad de conducción calibre 12 AWG} = 20[\text{A}]$$

$$20[\text{A}] * 1.05 * 1 = 21 \text{ [A]}$$

Necesitamos conducir 16.96 [A], *el conductor calibre 12 AWG es capaz de conducir 20 [A].*

Caída de Tensión

Ahora se comprueba por caída de tensión, para circuitos derivados no puede superarse el 2%, en este caso la distancia es de 10 [m].

La fórmula para calcular la caída de tensión en un sistema monofásico es la siguiente:



$$e\% = \frac{2InL100(R\cos\theta + X\sin\theta)}{V_{fn} * 1000}$$

Para un calibre 12 AWG:

$$R=6.6 [\Omega/\text{Km}] \quad X=.223 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 16.96[A] * 10[m] * 100((6.6[\Omega/\text{Km}] * .9) + (.223[\Omega/\text{Km}] * .43))}{127[V] * 1000} = 1.61\%$$

La caída de tensión es menor al 2%. Por lo tanto el calibre 12 AWG se elige para el circuito de contactos en los departamentos pequeños.

Iluminación

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * \text{f. p.}}$$

$$I_n = \frac{261 [W]}{127[V] * 0.9} = \boxed{2.28 \text{ A}}$$

De la tabla 4.3 (310-15(b)(16)de la NOM 001) *se selecciona un calibre 14 AWG* ya que es capaz de conducir hasta 15 [A].

Factores de Corrección

Los factores de corrección son los mismos que para el circuito de los contactos:

$$F.A.=1 \quad F.T.=1.08$$

$$\text{Capacidad de conducción calibre 14 AWG} = 15[\text{A}]$$

$$15[\text{A}] * 1.08 * 1 = 16.2 [\text{A}]$$

El calibre 14 AWG puede conducir la corriente de 2.28 [A]

Caída de Tensión

Se sigue considerando una distancia de 10 [m]. La fórmula para calcular la caída de tensión en un sistema monofásico es la siguiente:

$$e\% = \frac{2InL100(R\cos\theta + X\sin\theta)}{V_{fn} * 1000}$$

$$R=10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X=.24 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 2.28[A] * 10[m] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .9) + (.24[\Omega/\text{Km}] * .43))}{127[V] * 1000} = 0.33\%$$

Como la caída de tensión es mucho menor al 2%, no fue necesario aumentar un calibre al conductor, así que se el calibre seleccionado es 14 AWG.

-
-



▪ **Protección contra Sobrecarga**

La capacidad del interruptor contra sobre corriente se elige al 80% de la capacidad de conducción del conductor sin considerar los factores de agrupamiento, con la finalidad de proteger al mismo.

Contactos

Para alimentar los contactos se eligió un calibre 12 AWG.

$$20[A] \cdot 0.8 = 16 [A]$$

La protección que a utilizar es un termomagnético de 20 [A], la NOM-001-SEDE-2012 en la tabla 310-15(b)(16) establece que la protección mayor para este calibre debe ser de 20 [A].

Iluminación

El calibre 14 AWG fue elegido para la carga de iluminación.

$$15[A] \cdot 0.8 = 12 [A]$$

Se elige un interruptor termomagnético de 10 [A] para la demanda en iluminación que es de 2.28 [A].

	DEPTOS GRANDES		DEPTOS CHICOS	
	CONTACTOS	ILUMINACION	CONTACTOS	ILUMINACION
Capacidad Nominal	20	10	30	10

Tabla 4.17. Capacidad Nominal de protecciones en circuitos derivados 2.

▪ **Tamaño Nominal de los Conductores de Puesta a Tierra**

Anteriormente ya se explicó el método para la selección del conductor de puesta a tierra por lo que se harán los cálculos sin mucha explicación.

Contactos

De la tabla 4.7 corresponde un conductor de puesta a tierra calibre 12 AWG ya que la protección es de una capacidad de 20 [A], no se compensó calibre en caída de tensión. Por lo tanto el calibre es el 12 AWG para tierra física.

Iluminación.

En la tabla 4.7 la protección menor que se considera es de 15[A], para el caso de una protección de 10 [A] se colocara también un calibre 14 AWG ya que no sufrió ninguna compensación.

▪ **Canalizaciones**

En la tabla 4.18 se contemplan las áreas transversales de los conductores utilizados en los circuitos contactos e iluminación.



Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro, TF tierra física)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Sección de Conductor mm ²	Subtotal mm ²
Contactos	2	F y N	THW-LS	12	11.68	23.36
	1	TF	Desnudo	14	2.08	2.08
					Σ total	25.44
Iluminación	2	F y N	THW-LS	14	8.968	17.936
	1	TF	Desnudo	14	2.08	2.08
					Σ total	20.016

Tabla 4.18. Área de conductores dentro de la canalización para contactos e iluminación en departamentos chicos.

De la tabla 4.10 se eligen dos canalizaciones de 16(1/2"), una para contactos y otra para iluminación, dichas canalizaciones tienen con un área disponible de 89 mm².

En la imagen 4.3 se muestra el diagrama unifilar para departamentos chicos del quinto nivel.

Departamentos Grandes

La demanda máxima para estos departamentos grandes es de 2900 W y se reparte de esta forma.

$$\text{Contactos} = 2593 \text{ [W]}$$

$$\text{Iluminación} = 307 \text{ [W]}$$

Cada una de estas demandas representa un circuito derivado.

Contactos

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * f.p.}$$

$$I_n = \frac{2593 \text{ [W]}}{127 \text{ [V]} * 0.9} = \boxed{22.68 \text{ A}}$$

Iluminación

$$I_n = \frac{\text{Watts}}{V * f.p.}$$

$$I_n = \frac{307 \text{ [W]}}{127 \text{ [V]} * 0.9} = \boxed{2.68 \text{ [A]}}$$

Los cálculos para la selección de los elementos eléctricos en los departamentos grandes es de la misma forma que para los departamentos pequeños, así que solo se muestra en el diagrama unifilar los valores obtenidos para estos (ver imagen 4.4).

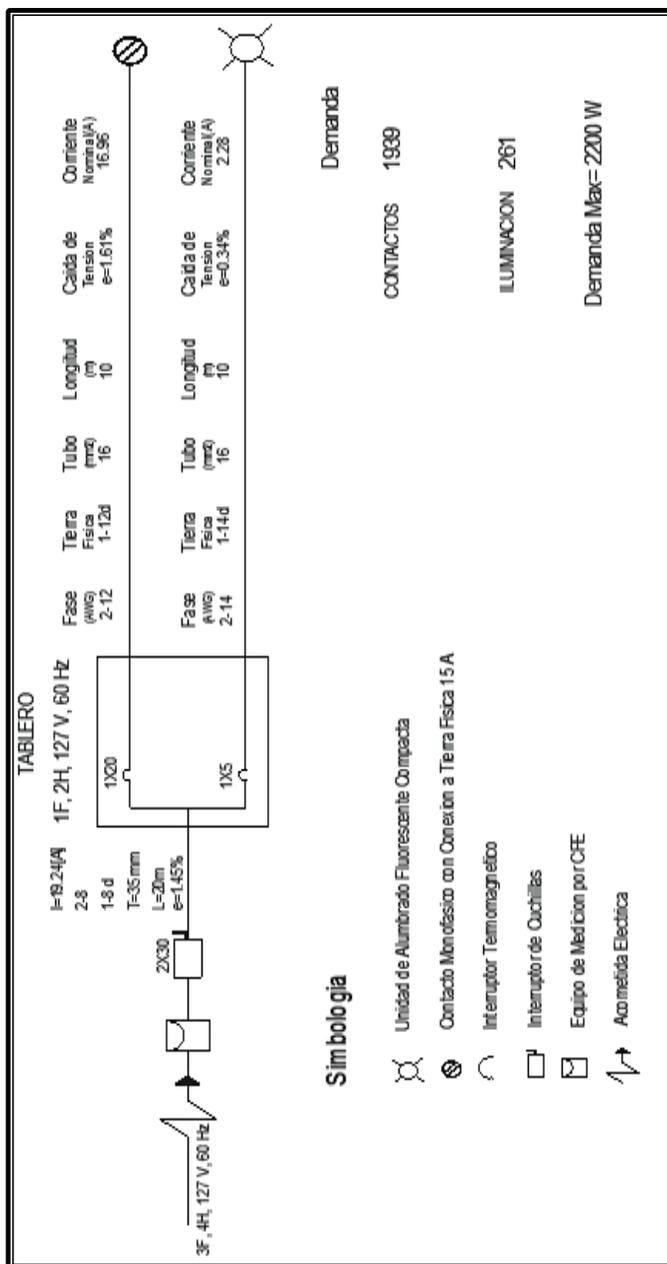


Imagen 4.3. Diagrama Unifilar Departamento Chico quinto piso

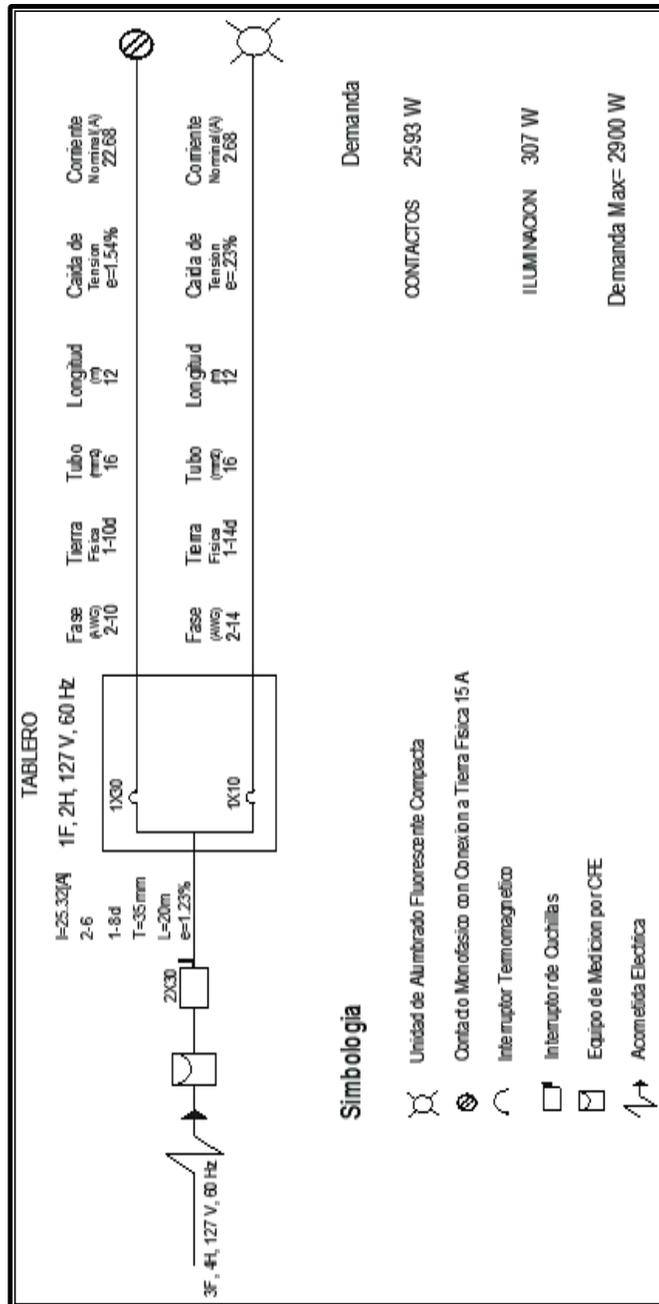


Imagen 4.4 Diagrama Unifilar Departamentos Grandes quinto piso

4.7.3 Selección de Elementos Eléctricos Servicios Generales

Los servicios generales comprenden una bomba de agua e iluminación en escaleras del edificio. El motor es a tres fases y la iluminación es a una fase.

Bomba trifásica de 1 HP

- **Determinación de corriente**

Bomba de agua 1 HP, de acuerdo la tabla 430-250 (Carga eléctrica a plena carga de motores trifásicos) de la NOM-001-SEDE-2012, tenemos:



kW	HP	Motor de inducción jaula de ardilla y rotor devanado, en amperes [A]			
		[V]			
		115	200	208	230
0.37	0.5	4.4	2.5	2.4	2.2
0.56	0.75	6.4	3.7	3.5	3.2
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2
1.12	1.5	12	6.9	6.6	6
1.5	2	13.6	7.8	7.5	6.8
2.25	3		11	10.6	9.6

Tabla 4.19. Corriente eléctrica a plena carga motores trifásicos basada en la tabla 430-250 NOM-001-SEDE-2012.

Tomando en cuanto los valores de potencia y tensión nominales a plena carga de la bomba tenemos: 1 HP y 220 [V]. De la tabla 4.19 se observa que no se cuenta con una tensión de 220 [V], es por esto que se consideran los más cercanos, por lo que interpolaremos a los valores de (208[V] y 230 [V]), cuyas corrientes son 4.6 [A] y 4.2 [A] respectivamente, obteniendo una Corriente nominal a plena carga de 4.38 [A].

Interpolación:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \dots (a).$$

Donde $y_2 = 230; y_1 = 208; x_2 = 4.2; x_1 = 4.6; y'_2 = 220$

$$m = \frac{230 - 208}{4.2 - 4.6} = -55 \dots (b)$$

$$m_1 = \frac{y'_2 - y_1}{x'_2 - x_1} \dots (c)$$

Despejando y'_2 de (c)

$$x'_2 = \frac{(y'_2 - y_1)}{m_1} + x_1 \dots (d)$$

Sustituyendo valores en (d)

$$x'_2 = \frac{(220 - 208)}{-55} + 4.6 = 4.38[A] \dots (d).$$

La corriente obtenida de 4.38 [A] corresponde a una tensión de 220[v] y representa tener 4.38 [A] por cada fase.

Recordando que es una carga continua aplicamos el factor del 125%, por lo tanto:

$$I = 4.38 * 1.25 = \boxed{5.475 [A]}$$

Entonces se elige un calibre específico. En base a la tabla 4.3 (310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012), se observa que no se tienen un calibre específico para dicha corriente por lo que se elige el calibre más cercano que corresponde al 14 AWG que tiene una capacidad de conducción de 15[A].



Factores de Corrección

La temperatura ambiente es de 25°C y de acuerdo a la tabla 4.4 (factores de corrección) corresponden un factor de temperatura (FT) de 1.05. Además, para el factor de agrupamiento se consideran 3 conductores. Entonces:

$$FT = 1.05 \quad FA = 1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A] * 1.05 * 1 = 15.75 [A].$$

Tomando en cuenta los factores de temperatura y agrupamiento la capacidad de conducción del calibre 14 AWG aumenta a 15.75 [A], por ello se elige dicho calibre para la alimentación de la bomba.

Caída Tensión

Verificando que la caída de tensión a tres fases no supere el 2% para los circuitos derivados.

$$e\% = \frac{\sqrt{3}LI100(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff} * 1000}$$

Con una distancia de 10 [m] y un calibre 14 AWG con resistencia y reactancia inductiva:

$$R=10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X=.24 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 10[m] * 4.38[A] * 100 * ((10.2 * .9) + (.24 * .43))}{220[V] * 1000} = 0.32\%$$

La caída de tensión no supera el 2% por lo que estamos dentro de rango, el calibre 14 AWG será utilizado para alimentar a la bomba de agua.

▪ Protección contra Sobrecarga

Debemos recordar que para motores de 1 HP con arranque automático se tienen diferentes factores de acuerdo al tipo de motor y de servicios, para este caso se consideró el factor más crítico, del 125 % de la corriente nominal para carga continua.

$$I_n = 4.38 [A] * 1.25 = 5.475 [A].$$

En base a este valor cercano a 5[A] se eligió la protección contra sobre carga considerando el valor inmediato superior, que en este caso será de 10 [A].

Cuando ocurre el arranque de un motor, la corriente nominal se incrementa aproximadamente hasta 600%. Por ello se seleccionan fusibles de doble elemento con retardo de tiempo, el retardo de tiempo permite que la protección no opere debido a la corriente de arranque, a menos que se presente una corriente de corto circuito (10 [kA]).

La protección seleccionada podrá soportar una corriente de hasta 10 [A] circulando a través de ella y su tiempo de retardo para protección del arranque será de al menos 15 segundos, dicha protección será de 3 polos, con operación en grupo, esto quiere decir que en caso de falla



en una fase las otras 2 fases dejaran de funcionar, esto ayudará a evitar la sobre carga en los motores y el desgaste en los devanados del motor, además del desbalance entre fases.

Dicha protección protegerá también del corto circuito ya que tiene una capacidad interruptiva de 10 [kA], este parámetro es común en las protecciones de baja tensión.

Fusible de doble elemento con retardo de tiempo = 600 % de por ciento a plena carga.

$$I_{cc} = I_N * K [A]$$

donde:

I_{cc} = Corriente máxima al arranque del motor

I_N = Corriente Nominal.

K = porcentaje de corriente eléctrica que multiplicar de I_N

Desarrollando:

$$I_{cc} = 5.475 [A] * 6$$

$$I_{cc} = 32.85 [A]$$

Se seleccionan fusibles de 10 [A] doble elemento con retardo de tiempo.

▪ **Tamaño Nominal de los conductores de Puesta a Tierra**

Para la selección del conductor de puesta a tierra se realiza de la misma forma que para los departamentos.

La bomba de agua demanda una corriente por fase de 5.475 [A] se elige el calibre desnudo de puesta a tierra de calibre 14 AWG cuya área es de 2.08 [mm²].

▪ **Canalizaciones**

El tipo de canalización a utilizar es tubo conduit metálico tipo semipesado. En la canalización se tienen 4 conductores aislados calibre 14 AWG (fase A, B, C) y un conductor desnudo calibre 14 AWG, sumando cada una de sus áreas tenemos:

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro, TF tierra física)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Sección de Conductor mm ²	Subtotal mm ²
Bomba de agua	3	F-F-F	THW-LS	14	8.968	26.9
					Σ total	35.87

Tabla 4.20. Área total de los conductores para bomba de agua.

De la tabla 4.10 (tabla 4 de la NOM-001-SEDE-2012) y un factor de Relleno del 40% (por ser más de 2 conductores), el valor inmediato superior al área total de 35.87 [mm²] es de 89 [mm²] por lo tanto se elige un tubo conduit semipesado de 16 (½").



Iluminación de áreas comunes dentro del edificio

▪ Determinación de corriente

En iluminación dentro del edificio se tienen las siguientes cargas:

Carga	Cantidad	Tipo de lámpara	Potencia Unitaria	Potencia Subtotal	Unidades
Iluminación Interior	11	LFC circular	32	352	[W]
Iluminación Exterior	2	LFC twist	13	26	[W]
TOTAL				378	[W]

Tabla 4.21. Carga instalada en iluminación para pasillos y escaleras del edificio.

Considerando que la operación de las lámparas es a 127 [V] (monofásico), se realiza el siguiente balance por número de lámparas para cada fase.

Balance de carga de iluminación en tres fases			
	Fase A	Fase B	Fase C
LFC circular 32 [W]	4*32 [W]	4*32[W]	3*32 [W]
LFC twist 13 [W]	-	-	2*13 [W]
	128 [W]	128 [W]	122 [W]

Tabla 4.22. Distribución por fase en iluminación de servicios generales.

Obteniendo un desbalance entre fases de:

$$\begin{aligned}
 \text{Desbalance entre fases} &= \frac{\text{Carga mayor} - \text{Carga menor}}{\text{Carga mayor}} \times 100 \\
 &= \frac{128 [W] - 122[W]}{128 [W]} \times 100 = 4.68\%
 \end{aligned}$$

El desbalance es menor al 5%. Se prosigue a determinar las corrientes correspondientes por cada fase:

$$\begin{aligned}
 I_{n\phi} &= \frac{\text{Watts}}{V_{fn} * f.p.} \\
 I_{nA} &= \frac{128 [W]}{127[V] * 0.9} = \boxed{1.12 [A]} \\
 I_{nB} &= \frac{128 [W]}{127[V] * 0.9} = \boxed{1.12 [A]} \\
 I_{nC} &= \frac{122 [W]}{127[V] * 0.9} = \boxed{1.06 [A]}
 \end{aligned}$$

▪ Selección del Calibre del Conductor

Se elige la corriente mayor, 1.12 [A], para determinar el calibre del conductor. Entonces de la tabla 4.3 (tabla 310- 15(b) (16) de la NOM-001) se elige el calibre 14 AWG ya que es



capaz de conducir hasta 15 [A] y recordando que es el menor calibre que puede ser utilizado en una instalación eléctrica.

Factores de Corrección

En la canalización se alojarán 6 conductores (3 fases y 3 neutros) desde la concentración de carga hasta el primer nivel (fases A, B, C y neutros). En el segundo y tercer nivel se alojan cuatro conductores (fases B, C y neutros). Mientras que el cuarto y quinto nivel sólo hay 2 conductores (fase C y neutro). No habrá conductor de puesta a tierra ya que el tipo de lámpara no lo requiere.

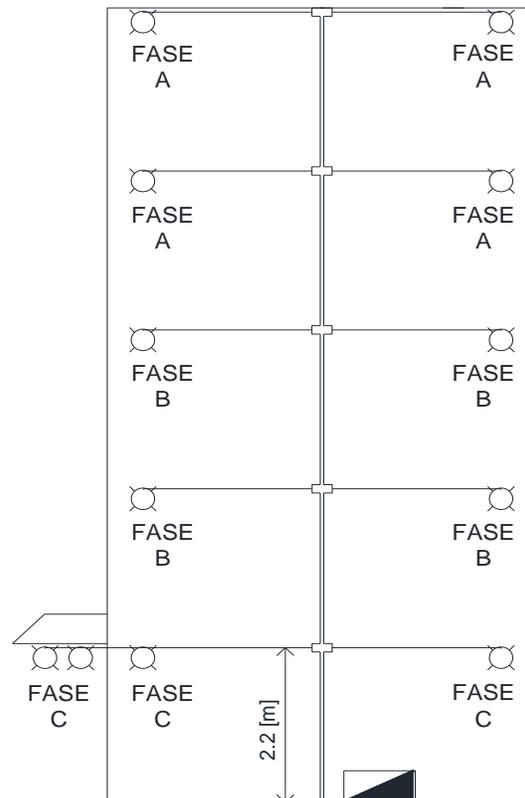


Imagen 4.5. Tubería de circuito para iluminación pasillos y escaleras.

Tomando como ejemplo el primer nivel (6 conductores 14 AWG). El factor por agrupamiento observando la tabla 310-15(b)(3)(a) es de 0.8 y para el caso del factor de temperatura, la temperatura ambiente sigue siendo de 25°C.

$$F.A.=.8 \quad F.T.=1.05$$

$$\text{Capacidad de conducción calibre 14 AWG}= 15[A]$$

$$15[A]*1.05*.8=12.6 [A]$$

Necesitamos conducir 1.12 [A], el conductor calibre 14 AWG es capaz de conducirlo.

Caída de Tensión

Ahora se comprueba por caída de tensión a una fase, para circuitos derivados no debe superar el 2%, se considera una distancia de 2.2 [m].



$$e\% = \frac{2LI100(R \cos \theta + X_L \sin \theta)}{V_{fn} * 1000}$$

$$R=10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L =.24 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 2.2[m] * 1.12[A] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .9) + (.24[\Omega/\text{Km}] * .43))}{127[V] * 1000} = 0.24\%$$

Por lo tanto se selecciona el calibre 14 AWG.

▪ Protección contra Sobrecarga

El calibre 14 AWG tiene una capacidad de conducción de corriente de hasta 15 [A], por lo que la protección contra sobre corriente para este conductor no debe superar 15 [A], cada fase de la instalación de iluminación tendrá un interruptor termomagnético monofásico de 10 [A]; es decir, en caso de falla en alguna fase, sólo se verá afectado el circuito alimentado por dicha fase.

▪ Canalizaciones

Utilizando tubo Conduit tipo semipesado y revisando la tabla 4.8 (tabla 1 de la NOM-001-SEDE-2012) “factores de relleno en tubo (conduit)”, el factor de relleno es de 40 %, por tener más de dos conductores dentro del tubo conduit semipesado.

Tomando en cuenta que tenemos 6 conductores aislados calibre 14 AWG (fase A, B, C y neutro de cada fase) tenemos:

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Sección de Conductor mm ²	Subtotal mm ²
Nivel 1 Iluminación	3	F-F-F	THW-LS	14	8.968	26.9
	3	N-N-N	THW-LS	14	8.968	26.9
					Σ total	53.81

Tabla 4.23. Conductores que llegan al primer nivel para circuito de iluminación.

De la tabla 4.10 (tabla 4 de la NOM-001-SEDE-2012) se observa que el valor inmediato superior para nuestra área total de 53.81 [mm²] será de 89 [mm²]. La designación métrica del tubo conduit semipesado (IMC) es 16 (1/2”).

A continuación se muestra la canalización para iluminación. Observando que no hubo necesidad de cambiar el diámetro del tubo conduit.

Nivel	Área Transversal Total de los conductores (mm ²)	Designación Canalización
1	53.81	16 (1/2)
2	35.87	16 (1/2)
3	35.87	16 (1/2)
4	17.94	16 (1/2)
5	17.94	16 (1/2)

Tabla 4.24. Designación de una sola tubería para los cinco niveles.



4.7.4 Selección de Elementos Eléctricos Alimentador de Servicios Generales

- **Selección del Calibre del conductor**

El alimentador principal de servicios generales se deriva en dos, para el motor y otro para iluminación del edificio (áreas comunes), dichas cargas trifásicas tienen que ser registradas por el medidor de CFE, el cual también será trifásico, por lo que se debe calcular el calibre correcto y las protecciones necesarias que soporten ambas cargas en funcionamiento (motor e iluminación).

ALIMENTADOR PRINCIPAL SERVICIOS GENERALES		
TIPOS DE CARGA	DEMANDA POR CONCEPTO(W)	[W]
MOTOR TRIFASICA	746	746
ILUMINACION INTERIOR EN EDIFICIOS	378	378
TOTAL(W)		1124

Tabla 4.25. Alimentador en servicios generales

Para el cálculo de la corriente nominal por fase tenemos:

$$I_n = I_{Carga\ No\ Continua} + I_{Carga\ Continua} * 1.25$$

$$I_n = I_{nIluminacion} + I_{nBomba\ agua} * 1.25$$

$$I_{nIluminacion} = 1.12 [A], \text{ considerando el caso más crítico}$$

$$I_n = 1.12[A] + 4.38[A] * 1.25$$

$$I_n = 6.6[A]$$

Tenemos una corriente nominal por fase de 6.6 [A] para el alimentador principal de Servicios Generales del edificio.

De acuerdo a la nota de la tabla 4.3 (tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001) el calibre 14 AWG tiene una capacidad de conducción de corriente hasta 15 [A], por lo que la protección contra sobrecorriente no deberá sobrepasar los 15 [A].

- **Caída Tensión**

Ahora verificando por caída de tensión considerando una distancia de 10[m] y calibre

$$14\ AWG.\ R=10.2\ [\Omega/Km] \quad X_L = .24\ [\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3}LI(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff}} \times 100$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 10[m] * 6.6[A] * 100((10.2 * .9) + (.24 * .43))}{220[V] * 1000} = 0.48\%$$

La caída de tensión no supera el 2% por lo que estamos dentro de rango. Por lo tanto se acepta el calibre 14 AWG para el alimentador de servicios generales.



▪ **Protección contra sobrecarga**

Para la protección general de los servicios generales se seleccionan fusibles de 3 polos de 15[A] con retardo de tiempo, recordando que tenemos el servicio de bombeo de agua.

NOTA:Para el cálculo de la canalización se consideran 4 portadores de corriente calibre 14 AWG con tubo conduit IMC de 16(1/2).

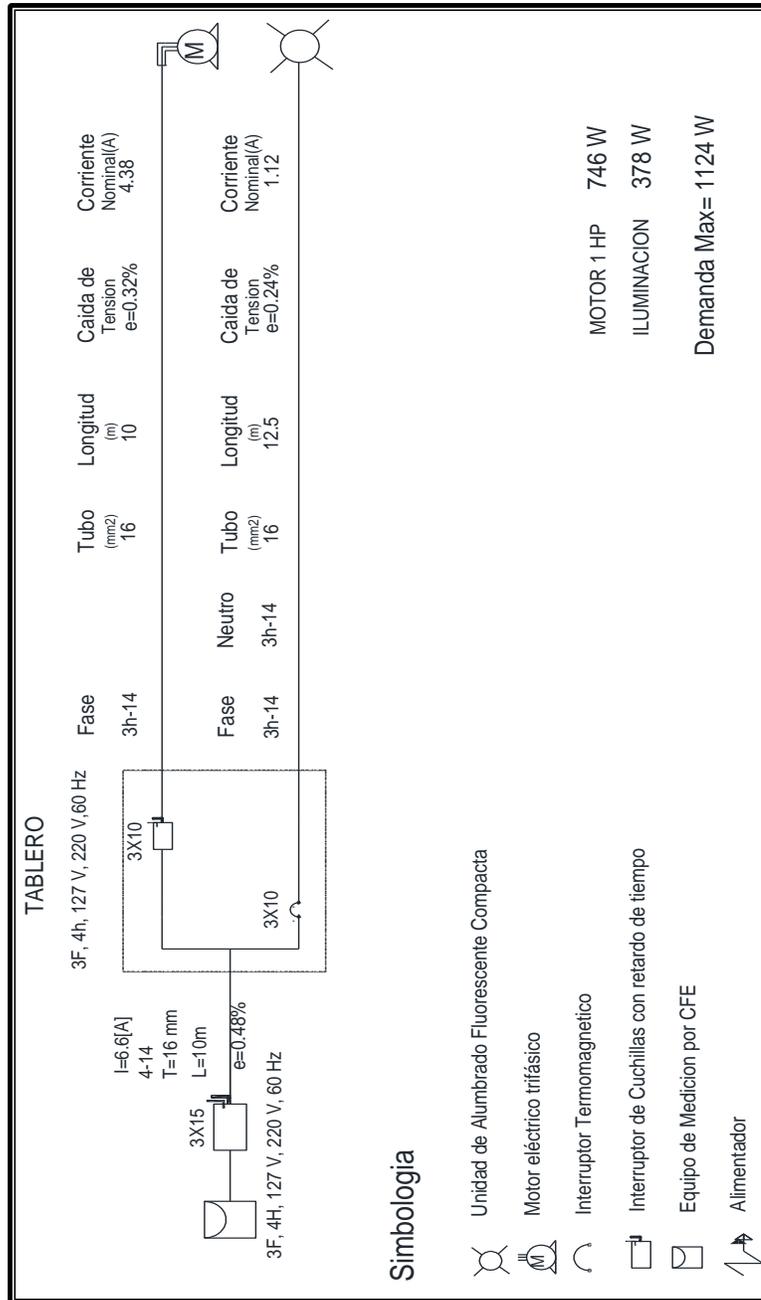


Imagen 4.6. Diagrama Unifilar Servicios Generales.



CAPITULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN ESTACIONAMIENTOS Y PASILLOS EXTERIORES

El crecimiento de la demanda del suministro de energía eléctrica debe ir asociado al uso eficiente de la misma en su uso final, que a su vez se sustenta en la modernización del sector e instalación de nuevos equipos que cumplan con los mínimos requerimientos establecidos por normas oficiales.

Así como en las instalaciones eléctricas existen normas oficiales, en la iluminación también. Por lo cual deben ser consideradas en cualquier proyecto, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin el quebranto de los requerimientos visuales.

Para el diseño del sistema de alumbrado de la Unidad Habitacional se hace referencia a la NOM-013-ENER-2013 "Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas" y la NOM-025-STPS-2008 "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo"

- Cabe señalar que la NOM-013-ENER-2013 no aplica para unidades habitacionales, sin embargo se utilizará como referencia para cumplimiento de mínimos niveles establecidos para estacionamientos públicos. Dicha norma establece los niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia promedio (ver Apéndice A) para alumbrado, en todos los sistemas nuevos, ampliaciones o modificaciones de instalaciones ya existentes, para vialidades y estacionamientos públicos, ya sean abiertos, cerrados o techados en el territorio nacional, independientemente de su tamaño y carga conectada.

El cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) se realiza de la siguiente manera:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado [W]}}{\text{Área total iluminada [m}^2\text{]}}$$

Donde la carga total conectada para alumbrado se considera con el fin de cuantificar el valor de la potencia nominal del conjunto balastro-lámpara.

- La NOM-025-STPS-2008 establece los niveles de iluminancia en las áreas de los centros de trabajo. Entendemos por centros de trabajo aquellos lugares tales como edificios (oficinas), locales, instalaciones y áreas en los que se realicen actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento o prestación de servicios, en el que laboren personas que estén sujetas a una relación de trabajo. En dichos centros de trabajo se deberá contar con la cantidad de iluminación necesaria para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. Las áreas consideradas son oficinas, patios, estacionamientos, pasillos interiores, áreas de talleres de alta precisión para tareas visuales, entre otras. Dicha norma no contempla la DPEA.

Aunque ambas consideren estacionamientos y áreas de tránsito para desplazarse caminando, en la presente tesis se considera únicamente la NOM-013-ENER-2013 para estacionamientos y la NOM-025-STPS-2008 para alumbrado exterior; el peatón puede desplazarse por los pasillos de la unidad habitacional.



Se verificará el cumplimiento de normatividad con apoyo de un software de simulación llamado DIALux, el cual arroja valores cercanos a los que se tendrían en un escenario real y de esta manera se espera mostrar ilustrativamente los niveles de iluminación que se pueden obtener con una propuesta de alumbrado para distintas zonas.

5.1 Zonas a Alumbrar en la Unidad Habitacional

Los espacios a iluminar son independientes entre sí por la forma de utilización de cada uno, por lo tanto, requieren distintos niveles de iluminación. A continuación las zonas de alumbrado:

- a) Estacionamientos
- b) Exteriores

a) Estacionamientos

Son espacios de servicio público, cuya finalidad principal es el resguardo seguro de vehículos automotores. Existen dos tipos de estacionamientos techados y abiertos. En la unidad habitacional se tienen dos estacionamientos abiertos, uno grande de 3407.5278 [m²] y uno chico de 2971.8157 [m²].

A continuación se muestra una fotografía de los estacionamientos:



Imagen 5.1. Estacionamientos grande y chico.

En la Tabla 5.1 se muestran los niveles requeridos por la NOM-013-ENER-2013 para estacionamientos abiertos (Valores máximos de DPEA, iluminancia promedio y relación de uniformidad).



Área a iluminar [m^2]	Iluminancia promedio [lx]	Relación de uniformidad máxima [E. prom/E. mín]	Densidad de potencia eléctrica para alumbrado [$\frac{W}{m^2}$]
< 300	25	4 a 1	1.8
de 300 a < 500			1.62
de 500 a < 1000			1.11
de 1000 a < 1500			1.08
de 1500 a 2000			0.89
> 2000			0.88

Tabla 5.1. Valores de iluminancia promedio, relación de uniformidad y DPEA para estacionamiento públicos abiertos.

b) Exteriores

Son los parques, patios, zonas donde el peatón puede desplazarse. En la tabla 5.2 se muestran los valores de los niveles mínimos de iluminación establecidos por la NOM-025-STPS-2008.

Tareas visual del puesto de trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de iluminación [luxes]
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100

Tabla 5.2. Niveles mínimos de iluminación en distintas áreas.

5.2 Antecedentes de Alumbrado Público

En el alumbrado público de vialidades en México se han utilizado diversos tipos de lámparas desde el siglo pasado. A mediados de la década de los años 20 se introdujeron las lámparas incandescentes de alta potencia que producían luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico dentro de una ampolla al vacío. A finales de los años 50 se incorporaron las lámparas de vapor de mercurio en alta presión. Finales de los años 70 se inició la utilización de las lámparas de vapor de sodio en alta presión que sustituyeron a las de vapor de mercurio en alta presión, y desde principios de la primera década de este siglo se inició la incorporación de las lámparas de aditivos metálicos que son variantes de sus antecesoras de vapor de mercurio.

Actualmente siguen instalándose lámparas de vapor de sodio en alumbrado público pero depende de las necesidades del proyecto de cada zona, delegación o municipio. Sin embargo, las lámparas de vapor de sodio cuentan con optimizaciones que pueden sustituirlas. Las lámparas de aditivos metálicos también cuentan con sus optimizaciones y son una buena opción para alumbrado público.



Además de las tecnologías mencionadas también existen para alumbrado público lámparas de inducción y una creciente instalación de lámparas LED.

5.3 Funcionamiento y Tipo de Lámparas

A continuación una explicación breve de las tecnologías comúnmente instaladas en alumbrado público, desde la lámpara vapor de mercurio en alta presión hasta lámparas LED. No se profundizará mucho en el tema, sin embargo es necesario que se tenga un panorama general para entender la justificación que se realizará al seleccionar la lámpara para cada zona de la Unidad Habitacional.

Lámpara de Vapor de Mercurio en Alta Presión

Esta lámpara pertenece a la familia HID, High Intensity Discharge por sus siglas en inglés. Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión consisten en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. Para su operación requieren de un equipo auxiliar para proporcionar el voltaje apropiado para comenzar el encendido y regular el flujo de corriente para mantener la lámpara encendida, este dispositivo se le conoce como balastro.

La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro.

La CONUEE no recomienda su instalación para alumbrado público, ya que aunque tienen una vida útil de 24 000 horas y Temperatura de Color Correlacionada (ver Apéndice A) de hasta 4100 [°K], la depreciación de lúmenes (ver Apéndice A) es considerable, tienen un bajo Índice de Rendimiento de Color (ver Apéndice A), y eficacia promedio (ver Apéndice A) de 37 a 63 [lm/W]. Por lo que no es común encontrarlas en alumbrado público.

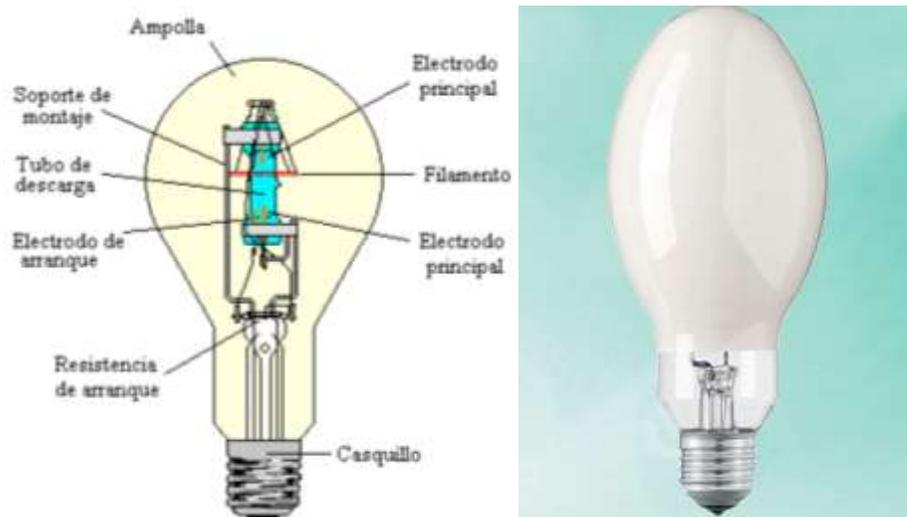


Imagen 5.2. Elementos de una lámpara vapor de mercurio en alta presión.



Lámpara de Vapor de Sodio en Alta Presión y su Optimización

También pertenece a la familia de lámparas HID. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve, esto se logra por medio del balastro, electromagnético o electrónico.

Son una de las fuentes de iluminación más eficientes, ya que proporcionan buena eficacia promedio de hasta 109 [lm/W], Temperatura de Color Correlacionada (TCC) de 2200 [°K], pero un Índice de Rendimiento de Color (CRI) de 21, por lo que sus aplicaciones están aquellas que no requieran de una alta discriminación de color. Actualmente siguen instaladas lámparas convencionales de Vapor de Sodio en alta presión (VSAP) tanto en la Ciudad de México como en el resto del país. Pueden ser sustituidas por la optimización de esta lámpara u otras tecnologías con mejor rendimiento.

La optimización de la lámpara VSAP se basa en incrementar la temperatura de color así como su vida útil de hasta 36 000 horas, además de mejorar su eficacia promedio, la reproducción de colores o CRI sigue siendo bajo. Al final de vida de estas lámparas emiten una luz azulada, lo que facilita el mantenimiento. Es una buena opción para la sustitución de las convencionales.

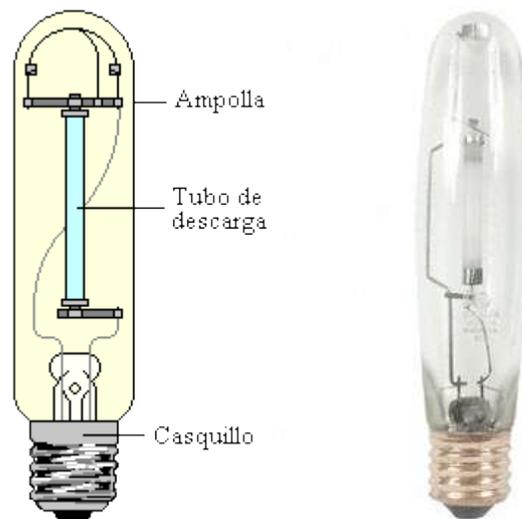


Imagen 5.3. Elementos de una lámpara de VSAP.

Lámpara de Vapor de Aditivos Metálicos y su Optimización

También conocidas como de haluro metálico. Forma parte de la familia HID, su funcionamiento es muy similar a las lámparas de Vapor de Mercurio en alta presión. El tubo compacto donde se forma el arco contiene una mezcla de argón, mercurio y una variedad de haluros metálicos. Las mezclas de haluros metálicos afecta la naturaleza de la luz producida, variando correlacionadamente la temperatura del color y su intensidad (por ejemplo, que la luz producida sea azulada o rojiza). El gas argón se ioniza fácilmente, facultando el paso del arco voltáico pulsante a través de dos electrodos, cuando se le aplica un cierto voltaje a la lámpara. El calor generado por el arco eléctrico vaporiza el mercurio y los haluros metálicos, produciendo luz a medida que la temperatura y la presión aumentan. Como las otras lámparas de descarga eléctrica, las lámparas de haluro metálico requieren balastro, ya sea electromagnético o electrónico.



Tienen una temperatura de color de hasta 4 400 [°K] y un CRI de hasta 88. Los inconvenientes son: tienen una baja eficacia, baja vida útil de 13 000 horas y su tiempo de reencendido ante una interrupción de energía es prolongado hasta 15 minutos.

Se ha sustituido de manera progresiva las VSAP por Aditivos Metálicos (VAM) sin embargo las VAM convencionales no muestran muchas ventajas frente a vapor de sodio.

Razones por las anteriores se tienen optimizaciones a las que se les llama lámpara de Aditivos Metálicos Cerámicos. Superan la vida útil de las convencionales hasta 30 000 horas, mayor eficacia, menor depreciación de lúmenes (ver Apéndice A), y mejora el CRI hasta 96. Algunas tienen un tiempo de reencendido menos prolongado que las convencionales, pero sólo para potencias desde 175 [W] hasta 1 650 [W]. Además puede ser controlado el flujo luminoso con balastos electrónicos, atenuándose hasta un 50% lo que genera ahorro de energía.

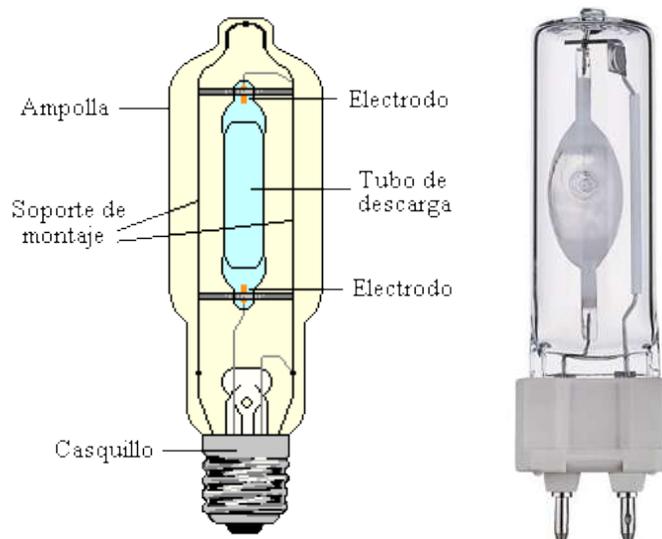


Imagen 5.4. Elementos de una lámpara VAM.

Las VAM Cerámicos son una buena alternativa para sustituir a las VSAP y VAM convencionales. Se pueden generar ahorros de energía con nuevos sistemas, incluso son consideradas como la segunda mejor opción después de lámparas LED. El uso de lámparas de aditivos metálicos es adecuado para el alumbrado público de áreas urbanas, como plazas, zócalos, parques, jardines, alamedas, andadores y quioscos entre otros, en donde la visión de los colores es muy importante.

Lámpara de Inducción Magnética (inductor externo)

La lámpara de inducción magnética con inductor externo se utiliza para alumbrado público y en exteriores. Su construcción y funcionamiento consiste en un bulbo tubular con sección circular de vidrio de forma circular, rectangular o cuadrada con trayectoria cerrada y continua, diseñado con dos depresiones desplazadas 180° geométricos entre sí y recubierto internamente con fósforos o tierras raras en una atmósfera de vapor de mercurio líquido y de amalgama de mercurio con gases inertes como argón y kriptón. Dos inductores con bobina de cobre y núcleo de ferrita reciben energía eléctrica de un generador de alta frecuencia a 233 [KHz] induciendo en un bulbo de sección circular y forma rectangular, cuadrada o circular, un flujo continuo de electrones de trayectoria cerrada haciendo las veces de un transformador donde el secundario lo forma el tubo con atmósfera gaseosa, sin conexiones eléctricas ni partes metálicas en el interior del bulbo. En esa



atmósfera gaseosa de gases inertes y mercurio se produce radiación UVC de 253.7 [nm] que se convierte en luz a través del polvo fosfórico que recubre el interior del bulbo.

Tiene una eficacia regular de hasta 79 [lm/W], larga vida útil promedio de hasta 60 000 horas, un CRI de 90, y temperatura de color hasta 7 000 [°K], el tiempo de encendido es rápido.

Aun cuando presenta ventajas sobre VAM cerámicos y VSAP optimizado, en alumbrado público ha tenido inconvenientes, ya que debido a su forma de emitir la luz en la luminaria necesita de distancias menores interpostales (ver Apéndice A) para cumplir con relaciones de uniformidad establecidas por la NOM-013-ENER-2013, lo que implica un mayor número de luminarias.

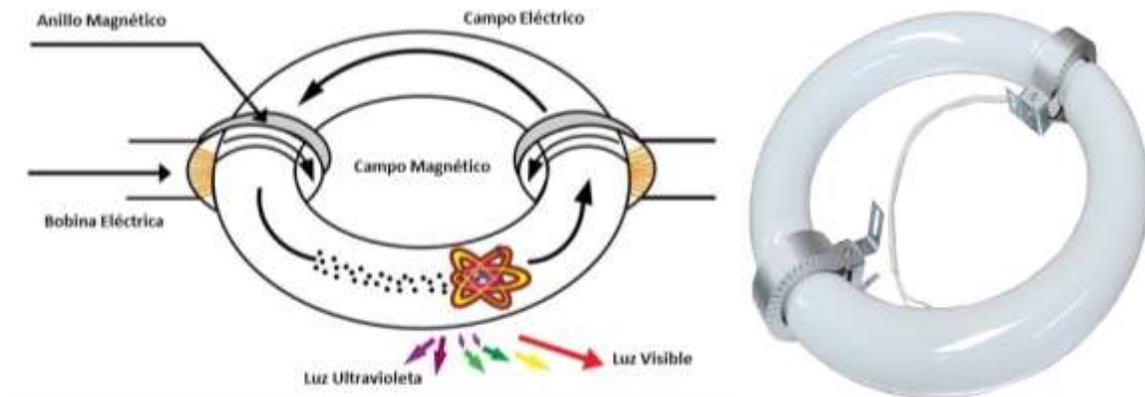


Imagen 5.5. Elementos de una lámpara de inducción magnética con inductor externo.

Lámpara LED

Su funcionamiento se basa en módulos de varios LEDs. El diodo emisor de luz o comúnmente llamado LED por sus siglas en inglés, es un dispositivo electrónico semiconductor consiste en un chip de material semiconductor dopado con impurezas para crear una unión PN. Al igual que en otros diodos, la corriente fluye fácilmente desde el lado p, o ánodo, al lado n, o cátodo, pero no en la dirección inversa. Cuando un electrón se encuentra con un agujero, cae en un menor nivel de energía y libera energía en forma de un fotón.

Necesita de un “driver” que convierte la corriente alterna en corriente directa, ya que los diodos funcionan con corriente directa. El flujo luminoso emitido por el LED puede ser controlado por medio de el driver lo que puede generar en un módulo de LEDs en una luminaria, un ahorro de energía en altas horas de la noche cuando hay menor actividad humana que al atardecer o al amanecer.

La aplicación de esta tecnología en alumbrado público tiene como características una buena eficacia de hasta 80 [lm/W], una vida útil promedio de hasta 80 000 horas, una temperatura de color de hasta 8 600 [°K], un CRI de hasta 85 y el tiempo de encendido es instantáneo.

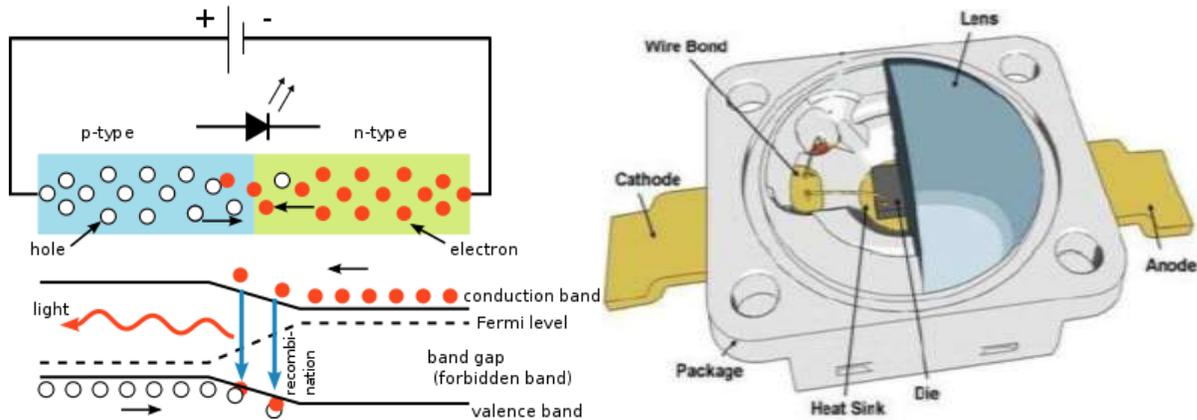


Imagen 5.6. Elementos de un diodo emisor de luz (LED).

Es una tecnología con fuerte tendencia aunque ya se han estado instalando en distintos puntos de la Ciudad de México, por ejemplo en el segundo piso de periférico. En cuanto a sus especificaciones técnicas puede reemplazar a VSAP, VAM e inducción, además de generar ahorros energéticos considerables. Sin embargo el costo inicial es sumamente alto, pues la calidad de cada LED en una producción puede variar, por lo que se deben seleccionar cuidadosamente bajo estrictas pruebas de laboratorio. Además de que se requieren diseños especiales para disipar el calor emitido por los diodos LED en una luminaria. Los avances tecnológicos en LED permitirían que sus precios bajen en el futuro.

Balastos para lámpara HID

Todas las lámparas que producen luz por medio de un arco eléctrico en un ambiente gaseoso requieren de un dispositivo externo que limite la corriente de operación. Este dispositivo se llama balastro. Estos balastos operan a las lámparas de Vapor de Mercurio en alta presión, Vapor de Aditivos Metálicos en alta presión y Vapor de Sodio en alta presión. Las funciones que tiene un balastro son:

- Suministrar la tensión o tensiones de encendido y operación de la lámpara.
- Limitar la corriente de operación de la lámpara.
- Proporcionar la energía con una mínima distorsión de la corriente.
- Corregir el factor de potencia.
- Amortiguar las variaciones de la tensión de la línea.

Debido a que operan de forma distinta las VSAP y VAM requieren de balastos electromagnéticos específicos, aunque existe en el mercado balastos electrónicos universales que pueden operar tanto en VSAP como en lámparas VAM. Existen balastos electromagnéticos y electrónicos que realizan la misma función, la diferencia entre ellos es que el primero puede generar mayor calor, lo que se traduce en pérdidas de potencia. Los balastos electrónicos además de demandar menor potencia y regular las variaciones de voltaje, tienen la ventaja de controlar el flujo luminoso en las lámparas HID, lo que genera un ahorro de energía cuando no se requiere de niveles altos de luminosidad.



Imagen 5.7. Balastro electromagnético (izquierda) y Balastro electrónico (derecha)



La tabla 5.3 muestra las características de cada tecnología que se mencionaron anteriormente. A partir de esta tabla se selecciona la lámpara a utilizar.

TABLA COMPARATIVA DE LAMPARAS						
Características	Vapor de Sodio en Alta Presión	Vapor de Sodio en Alta Presión Optimizado	Aditivos Metálicos	Aditivos Metálicos Cerámicos	Inducción Magnética Inductor Externo	LED
Vida Nominal [horas]	24, 000	22,000 a 36,000	10,000 a 15,000	16,000 a 32,000	100,000	50,000 a 100,000
Vida Útil [horas]	18,000	18,000 a 30,000	13,000	14,000 a 30 000	60,000	80,000
Eficacia Convencional Inicial [lm/W]	45 a 150	83 a 150	68 a 150	96 a 164	66 a 88	40 a 100
Eficacia Convencional Promedio [lm/W]	38 a 109	47 a 146	28 a 61	47 a 81	55 a 79	33 a 80
Depreciación de lúmenes	0.8	0.9	0.6	0.9	0.7	0.7
Índice de Rendimiento de Color (CRI)	21 - 25	23 - 80	80 - 88	85 - 96	80 - 90	65 a 85
Temperatura de color [°K]	1,900 - 2,200	2,000 a 4,000	2,500 - 4,400	3,000 a 4,100	3,500 - 7,000	2,700 – 8,600
Tiempo de Encendido [minutos]	1	2 a 3	3 a 5	2 a 3	<1	<1
Tiempo de Reencendido [minutos]	3 a 5	3 a 5	5 a 15	3 a 10	<1	<1
Balastro / Generador HF / Controlador	Magnético o Electrónico LF	Magnético o Electrónico LF	Magnético o Electrónico LF	Electrónico LF	Generador HF	Controlador LF
Factor de Potencia	>0.9	>0.98	>0.9	>0.9	>0.9	
Factor de Balastro	Mag 0.5 Elec>0.9	Elec>0.97	Elec>0.9	>0.9	No Aplica	
Pérdidas Balastro / Generador HF / Controlador	Medias a Bajas (8 a 38 W)	Medias a Bajas (6 a 15 W)	Medias a Bajas (8 a 47 W)	Medias a Bajas (6 a 15 W)	Muy bajo (3 a 11W)	Muy bajo (6 a 15 W)

Tabla 5.3. Comparación de tecnologías



De la tabla anterior se puede resumir:

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS				
	EFICACIA PROMEDIO	VIDA ÚTIL PROMEDIO	CRI	TEMPERATURA DE COLOR
MAYOR	VSAP OPTIMIZADO	INDUCCIÓN	LED	LED
	VSAP	LED	INDUCCIÓN	INDUCCION
	VAM CERÁMICOS	VSAP OPTIMIZADO	VAM CERÁMICOS	VAM
	INDUCCIÓN	VAM CERÁMICOS	VAM	VAM CERÁMICOS
	VAM	VSAP	VSAP OPTIMIZADO	VSAP OPTIMIZADO
MENOR	LED	VAM	VSAP	VSAP

Tabla 5.4. Resumen de tecnologías.

5.4 Selección de Lámparas en Estacionamientos y Pasillos Exteriores

La CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) en su guía “Iluminación eficiente en Alumbrado Público” sugiere la instalación de lámparas de vapor de sodio en alta presión (VSAP) y balastro de bajas pérdidas.

Sin embargo aun cuando las VSAP tienen una buena eficacia luminosa su baja reproducción de color (CRI), temperatura de color de 2200 [°K] (luz amarilla) y baja vida útil las ponen en desventaja frente a otras tecnologías.

Selección de lámpara

Se debe de seleccionar la lámpara de acuerdo a los requerimientos de cada proyecto, en el caso del presente trabajo se trata de una unidad habitacional de interés social que requiere de niveles de iluminancia y reproducción de colores suficientes para crear un ambiente de seguridad en estacionamientos y pasillos. Por tanto la fuente elegida debe cumplir con los requerimientos para tal necesidad.

En este sentido se seleccionan las lámparas Aditivos Metálicos Cerámicos que tienen como características técnicas: buena eficacia luminosa, mayor vida útil que las VSAP y VAM convencionales, buena depreciación de lúmenes, buen índice de rendimiento de color (CRI) de hasta 96, un CRI superior a 65 nos proporciona mejor visibilidad que lámpara de vapor de sodio.

Aditivos Metálicos Cerámicos (VAM Cerámicos)

- ✓ Eficacia luminosa promedio hasta 81 [lm/W].
- ✓ Mayor vida promedio que VSAP hasta 30 000 horas.
- ✓ Temperatura de color hasta 4100 [°K] (luz blanca).
- ✓ Baja depreciación luminosa del 10%.
- ✓ Índice de rendimiento de color (CRI) de hasta 96.



Cumplimiento de normatividad

La NOM 013-ENER-2013 en su apéndice normativo “Medición de Iluminancia” establece los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir para realizar la medición de la iluminancia mínima promedio en los estacionamientos o vialidades. Sugiere el método de los 9 puntos para distintas distribuciones de luminarias, en relación al ancho de la calle y distancia interpostal (ver Apéndice A).

En el caso de la presente tesis, sólo se auxiliará de un software que simula los distintos escenarios de la unidad habitacional y con los resultados obtenidos por medio de isolíneas o gráficas de valores se comprobará el cumplimiento de dicha norma. De esta manera se justificará la propuesta presentada.

Se analizan resultados obtenidos al realizar una simulación con el software DIALux. El método que se siguió en el software DIALux es el siguiente:

- Delimitar el área a iluminar, se requiere del plano de la unidad habitacional generado en AutoCAD.
- Las lámparas se eligen de catálogos de los distintos fabricantes disponibles en el software (contienen información técnica de cada una de ellas).
- Las lámparas son ubicadas en el área a iluminar.
- Procesar datos, verificación de resultados por medio de isolíneas, gráficas de valores de iluminancias mínima, promedio y máxima, además la relación de uniformidad.

Se sugieren distintas alturas en postes a las que serán instaladas las lámparas de acuerdo a su flujo luminoso.

Flujo de la lámpara [lm]	Altura [m]
$3000 \leq \phi < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \phi < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \phi < 40000$	$10 \leq H < 12$
≥ 40000	≥ 12

Tabla 5.5. Alturas de montaje.

Es conveniente aclarar, que sólo aplican las relaciones de uniformidad en los estacionamientos, mientras que en iluminación exterior no se tiene normalizado. Por lo que para pasillos se cumple con el nivel promedio mínimo requerido establecido en exteriores por la NOM-025-STPS-2008.



5.4.1 Iluminación en Estacionamientos y Pasillos

En la siguiente imagen se muestran las zonas a iluminar, se dividen en cuatro para su manipulación en DIALux:

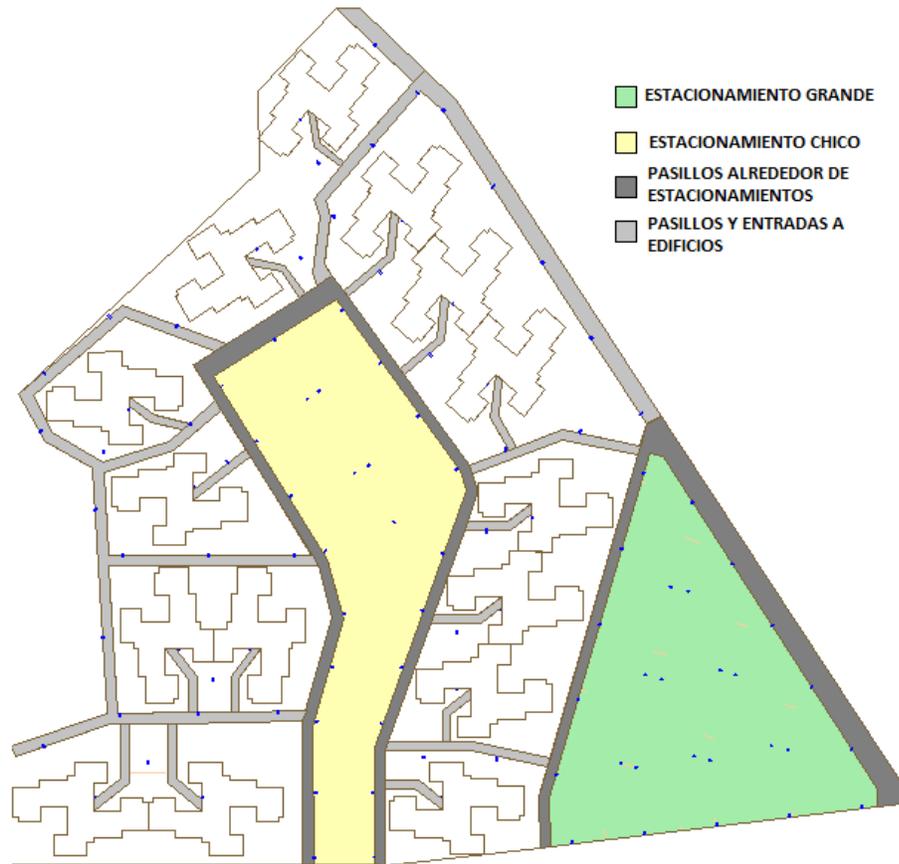


Imagen 5.8. Zonas dentro de la Unidad Habitacional.

En estacionamientos grande y chico se seleccionan luminarios con potencia de línea de 93 [W] con altura de montaje iguales en ambos casos.

Lámpara

Lámpara Vapor de Aditivos Metálicos Cerámicos de 90 [W], datos técnicos:

MASTER CosmoWhite CPO-TW							
Potencia [W]	Tensión [V]	TCC [°K]	CRI	Vida Promedio [h]	Flujo Luminoso Inicial [lm]	Flujo Luminoso Promedio [lm]	Altura de montaje [m]
90	92	2 870	70	30 000	10 450	9 405	10

Tabla 5.6. Datos técnicos lámparas aditivos metálicos cerámicos.



Balastro

Es importante señalar que al seleccionar la lámpara en DIALux implícitamente se selecciona el balastro; sin embargo debe considerarse los datos técnicos para el cálculo de la DPEA y la instalación de sus alimentadores eléctricos. El balastro para este tipo de lámpara es electrónico de bajas pérdidas, como se observa en la Tabla 5.7:

BALASTRO PARA LAMPARA HID				
Potencia de línea [W]	Tensión [V]	Corriente [A]	Pérdidas [W]	Factor de Potencia
93	220	0.43	3	>0.98

Tabla 5.7. Datos técnicos de balastro para lámpara HID.



Imagen 5.9. Lámpara HID Aditivos metálicos cerámicos de 90 [W].



Imagen 5.10. Balastro electrónico.

- **Iluminación en estacionamiento grande**

El área a iluminar en el estacionamiento grande es de 3407.5278 [m²]; debido a que se tiene un pasillo colindante se delimita también su área 726.1308 [m²], con el fin de aprovechar la cercanía de la fuente de luz que se utilice en el estacionamiento.

La Imagen 5.11 muestra la ubicación de las lámparas dentro del área de dicho estacionamiento:

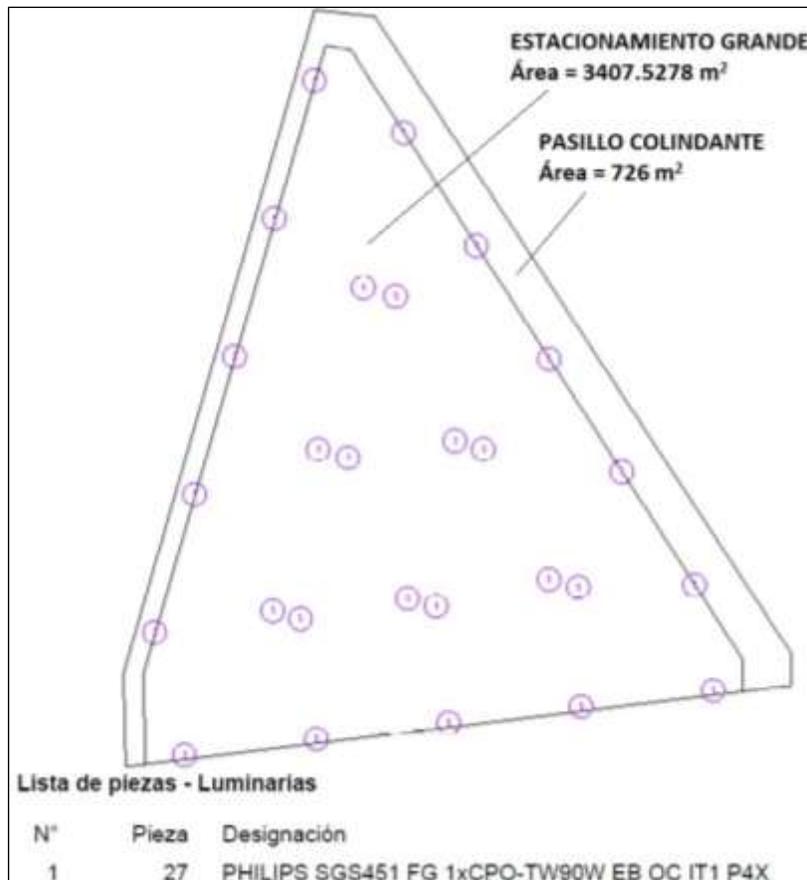


Imagen 5.11. Selección y ubicación de lámparas.

Simulación

Se simula el escenario que se tiene, estacionamiento – pasillo, pero los resultados se obtienen de manera individual. Las isóneas son muy útiles, nos muestran los niveles de iluminancia que hay en el estacionamiento grande. Hay que recordar que la NOM-013-ENER-2013 para estacionamientos requiere de una iluminancia mínima de 25 [lx], una relación de uniformidad de 4 a 1, DPEA máxima de 0.88 para estacionamientos mayores de 2000 [m²].

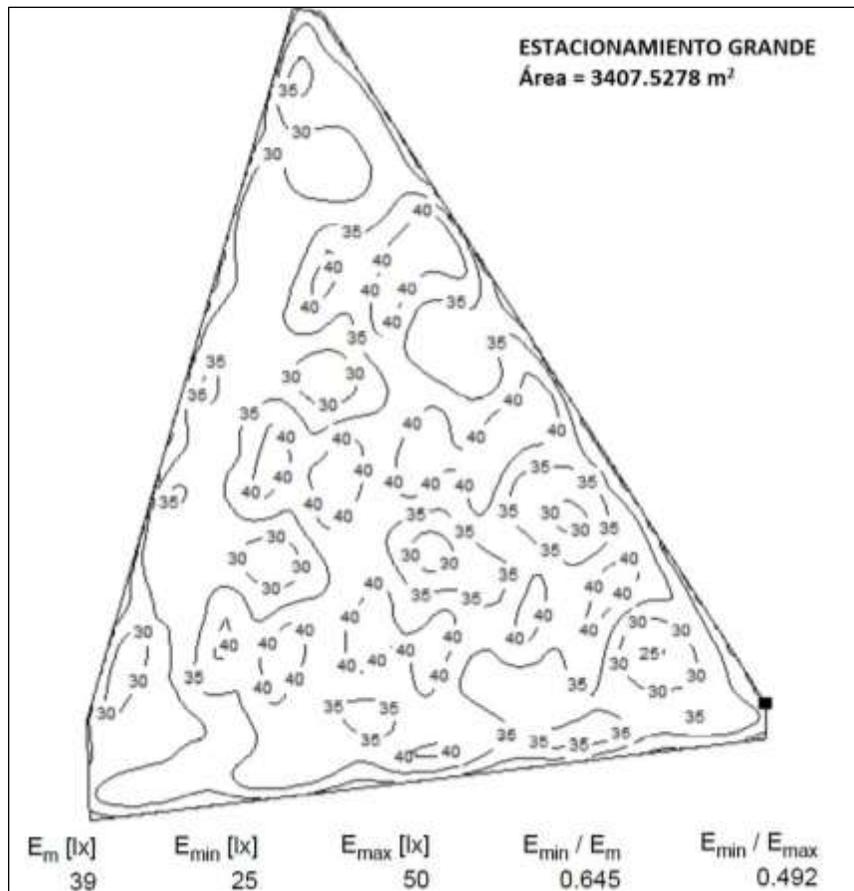


Imagen 5.12. Isocurvas y valores obtenidos con DIALux para el estacionamiento grande.

Se obtienen resultados de iluminancia promedio e iluminancia mínima de acuerdo a lo establecido por la NOM-013-ENER-2013.

La relación de uniformidad es de:

$$\frac{E_{promedio}}{E_{mínimo}} = \frac{39 [lx]}{25 [lx]} = 1.56$$

Por lo tanto, está dentro del rango establecido por la NOM-013 que es de 4 a 1.

Ahora se calculará la DPEA; se tienen 27 luminarios con potencia de línea de 93 [W] y un área de 3407.5278 [m²] por lo tanto:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} = \frac{27 * 93 [W]}{3407.5278 [m^2]} = 0.73 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

El resultado obtenido es menor a 0.88 que es el máximo permitido para estacionamientos abiertos con área mayor a 2000 [m²], por lo que se cumple con la NOM-013-ENER-2013.

- **Pasillo que rodea a estacionamiento grande**

Para el pasillo adyacente se aprovechará la fuente de luz instalada en el estacionamiento grande y se comprobará si se cumple con los niveles mínimos indicados en la NOM-025-STPS-2008.

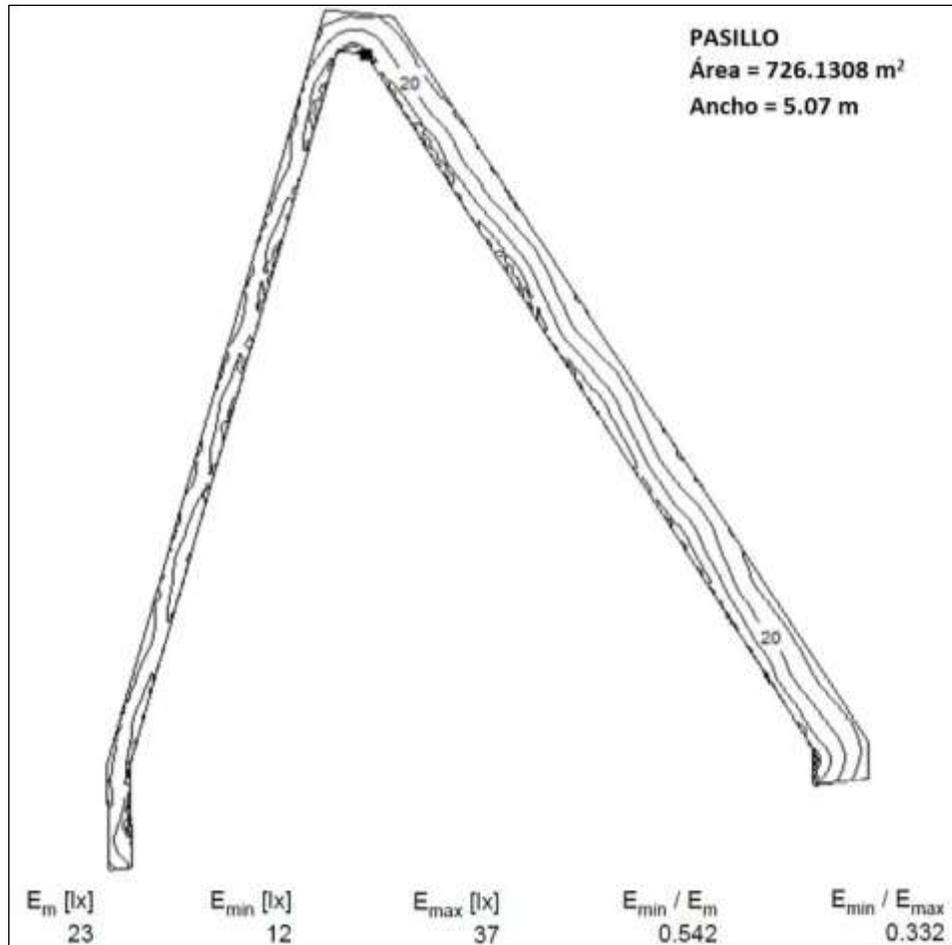


Imagen 5.13. Isótopos y valores obtenidos con DIALux para el pasillo.

De acuerdo con la Tabla 1 de la NOM-025 en lugares donde se pueda desplazarse caminando se requieren 20 [lx]. El resultado de la simulación muestra una iluminancia promedio de 23 [lx] y es suficiente para satisfacer con el nivel de iluminancia requerido. De esta manera se contribuye al uso eficiente de la energía eléctrica ya que se aprovecha la fuente de luz del estacionamiento grande e incluso cumple con la NOM-025.

- **Iluminación en estacionamiento Chico**

Se realiza el mismo procedimiento para el estacionamiento chico, con área de 2971.8157 [m²] y un pasillo que lo rodea de 799.516 [m²], se aprovechará la ubicación de las lámparas en el estacionamiento para iluminar dicho pasillo. El luminario es el mismo que se usó en el estacionamiento grande, por lo que se mostrarán únicamente los resultados obtenidos de la simulación.

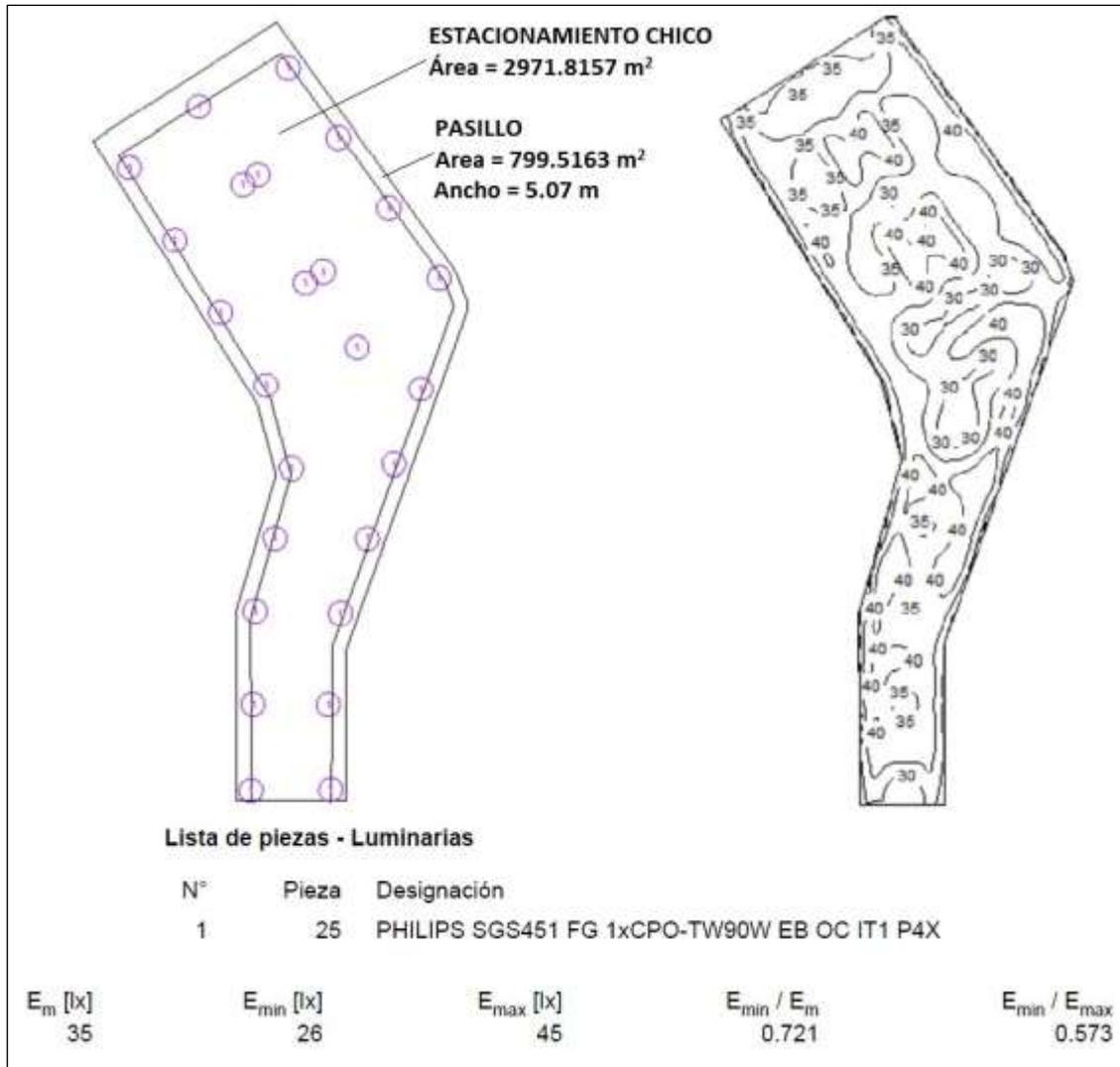


Imagen 5.14. Isolíneas y valores obtenidos con DIALux para el estacionamiento chico.

Se cumple con la mínima iluminancia establecida ya que se tienen 35 [lx] en promedio y una relación de uniformidad de 1.346, que también está dentro del rango establecido.

$$\frac{E_{promedio}}{E_{mínimo}} = \frac{35 [lx]}{26 [lx]} = 1.346$$

Ahora calculamos la DPEA, se tienen 25 luminarios de 93 [W], el área de 2971.516 [m²]:

$$DPEA = \frac{25 * 93 [W]}{2971.516 [m^2]} = 0.78 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Se cumple con DPEA máxima de 0.88 en estacionamientos abiertos y área mayor a 2000 [m²].

- **Pasillo que rodea a estacionamiento chico**

Debido a su cercanía, para este pasillo se aprovechará la fuente de luz que se simuló para el estacionamiento chico.

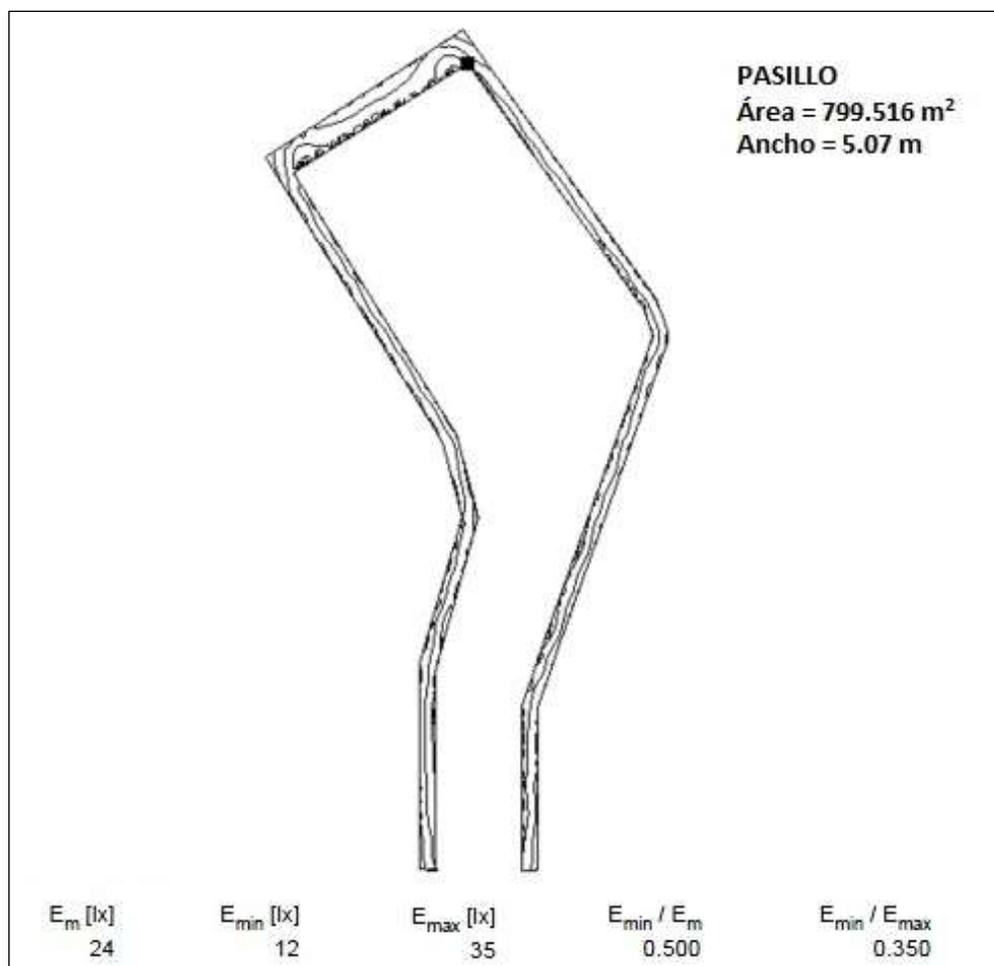


Imagen 5.15. Isolíneas y valores obtenidos con DIALux para el pasillo.

Los resultados arrojados por el software muestran que se cumple con lo mínimo requerido en la NOM-025-STPS-2008.

- **Iluminación en entradas y pasillos entre edificios**

Se seleccionan dos potencias distintas de lámparas, una para las entradas a cada edificio y otra para los pasillos entre edificios, ambas lámparas son Vapor de Aditivos Metálicos Cerámicos.

Lámparas

Datos técnicos de lámparas							
Potencia de lámpara [W]	Tensión [V]	TCC [°K]	IRC	Vida Promedio [h]	Flujo Luminoso Inicial [lm]	Flujo Luminoso Promedio [lm]	Altura de montaje [m]
70	92	2 990	82	16 000	6 500	5 200	12.5
45	91	2 800	67	32 000	4 950	4 300	6

Tabla 5.8. Datos de lámparas para pasillos entre edificios 45 [W], y entrada a edificio 70 [W].



Balastos

BALASTROS PARA LAMPARAS HID					
Potencia de línea [W]	Potencia de lámpara [W]	Tensión [V]	Corriente [A]	Pérdidas [W]	Factor de Potencia
80	70	220	0.38	10	0.95
47	45	220	0.22	3	>0.98

Tabla 5.9. Balastos para lámparas de 70 [W] y 45 [W].

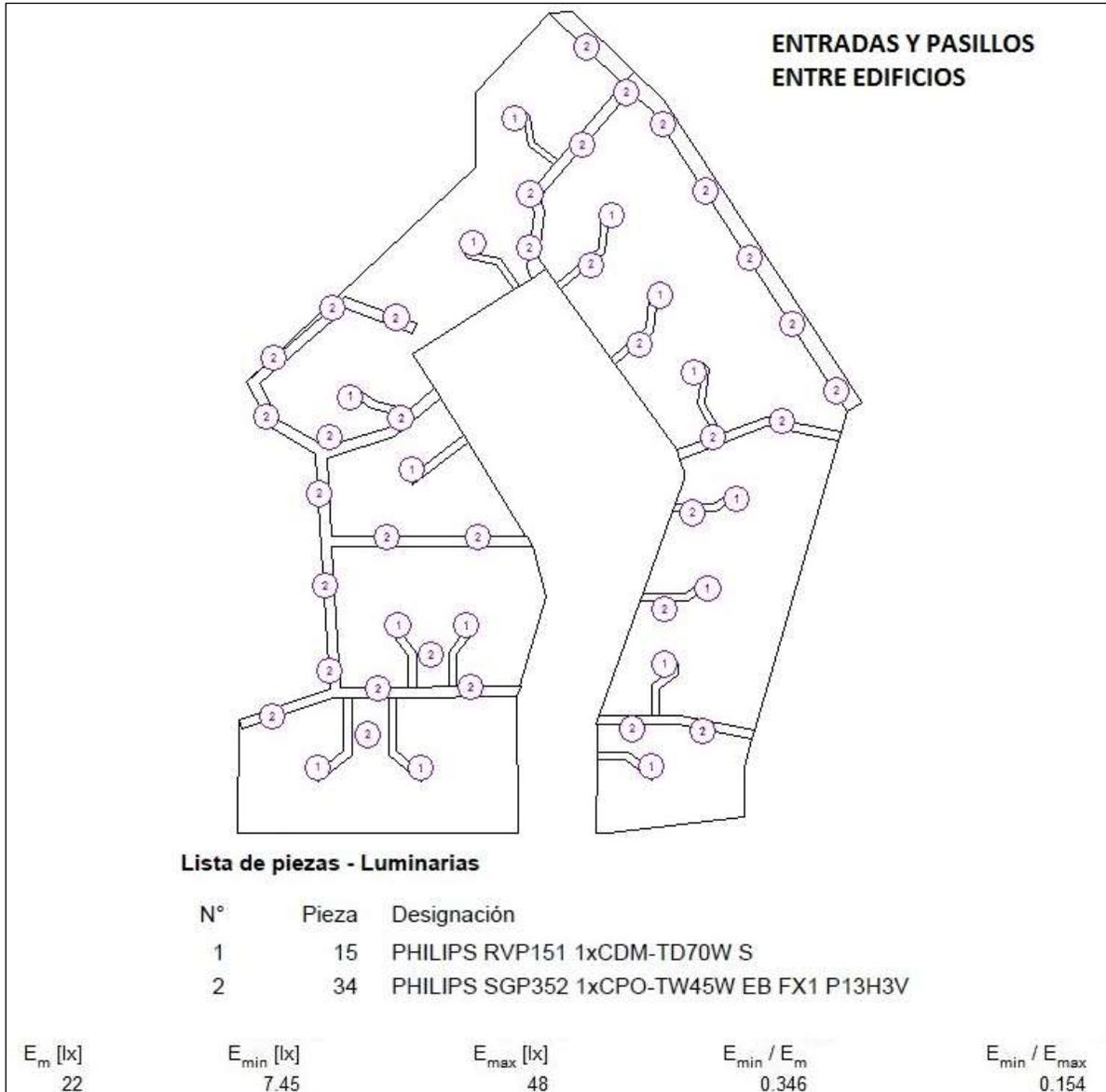


Imagen 5.16. Ubicación de lámparas y resultados obtenidos con la simulación.

Se muestra una iluminancia promedio de 22m [lx] suficiente para cumplir con la norma, proporcionando una buena iluminación para los habitantes de la unidad habitacional para su desplazamiento seguro por los pasillos exteriores.



A manera de resumen, se propone que todas las lámparas sean de Vapor de Aditivos Metálicos con distintas potencias para estacionamientos, pasillos y entradas a edificios. Simulando todas las zonas con dichos luminarios se obtienen los niveles de iluminancia y se comprueba que cumplan con las normas oficiales.

Como se muestra en la Imagen 5.17, los estacionamientos tienen un nivel de hasta 40 [lx] (amarillo) y zonas amplias con niveles de 30 [lx] (verde), los pasillos y entradas a los edificios muestran puntos con niveles entre 20 [lx] (verde-azul) y 40 [lx] (amarillo). Las zonas con 0 [lx] (negro) son zonas aisladas o azoteas de los edificios, donde es casi nulo el desplazamiento de gente durante la noche y no se cuenta con una fuente de luz.

El caso ideal es que no existan puntos con niveles de iluminancia muy bajos en zonas donde hay una fuente de luz, con el fin de que la iluminación sea lo más uniforme posible, garantizando la seguridad del peatón o automovilista en relación al cumplimiento de las normas NOM-025-STPS-2008 para pasillos y NOM-013-SEDE-2013 en estacionamientos.

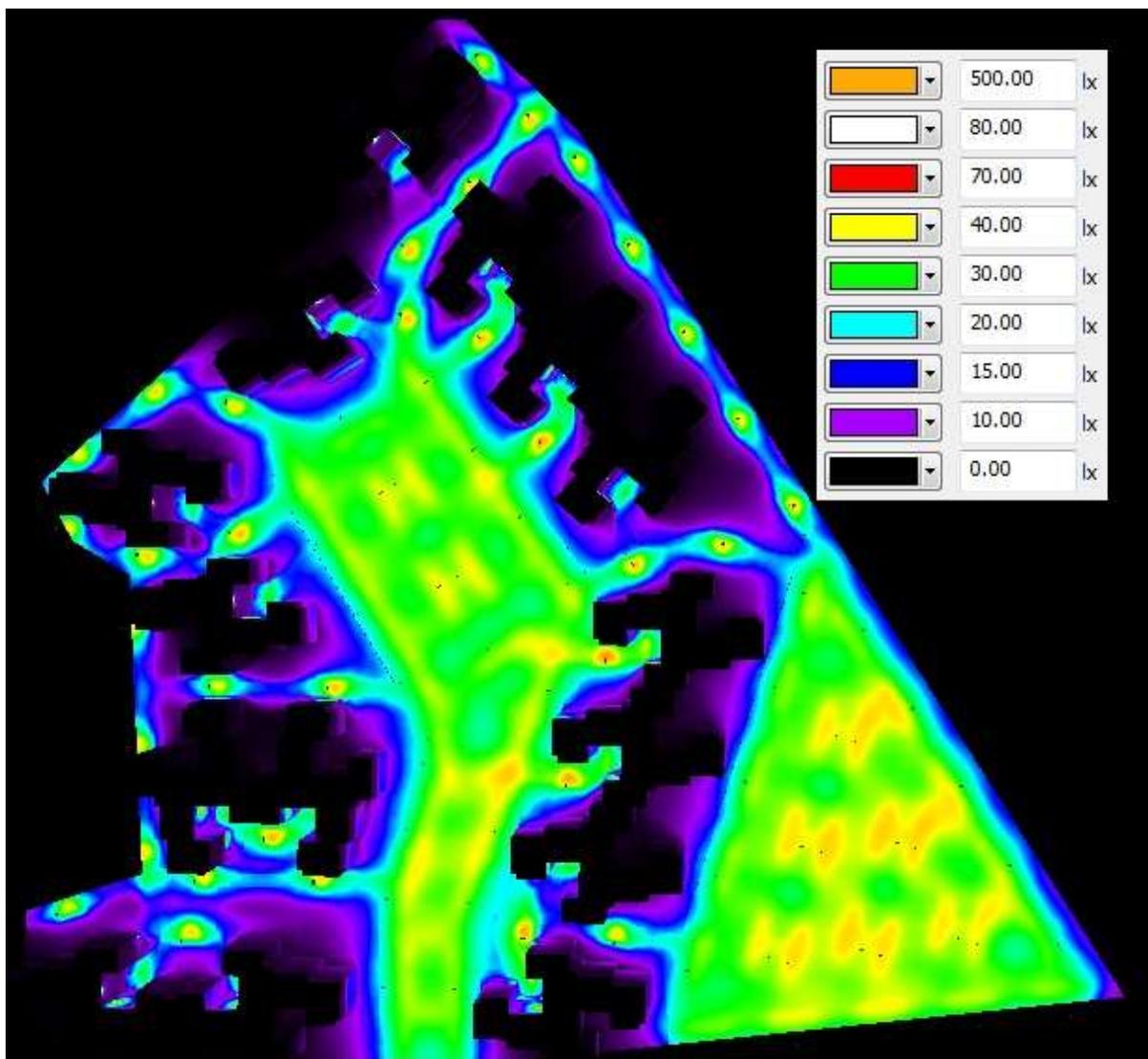


Imagen 5.17. Unidad Habitacional con iluminación propuesta.

Se tiene un total de 101 luminarios distribuidos de la siguiente manera:



ZONAS	POTENCIA DE LINEA POR LUMINARIO [kW]	CANTIDAD DE LUMINARIOS	POTENCIA INSTALADA EN [kW]
ESTACIONAMIENTO GRANDE	0.093	27	2.511
ESTACIONAMIENTO CHICO	0.093	25	2.325
PASILLOS ENTRE EDIFICIOS	0.08	15	1.2
	0.047	34	1.598
TOTAL DE LUMINARIOS		101	
TOTAL [kW]			7.634

Tabla 5.10. Número de luminarios por zona y su demanda.

5.4.2 Ahorro de Energía Eléctrica

Como anteriormente se mencionó, la CONUEE sugiere la instalación de Vapor de Sodio en Alta Presión con balastro de bajas pérdidas, aunque aclara que no se trata de algo limitativo ya que se puede considerar alguna otra tecnología.

Por lo tanto, se considera como caso base lámparas de Vapor de Sodio en Alta Presión para comparar consumos de energía con la propuesta planteada de lámparas de Vapor de Aditivos Metálicos Cerámicos. Para realizar de manera correcta el análisis, se toman flujos luminosos similares en ambos casos. De esta manera se asegura iluminancias semejantes para una comparación adecuada.

Los estacionamientos chico y grande tienen potencias de luminarios iguales; difieren de pasillos entre edificios. Se toman datos técnicos de potencia de línea y flujo luminoso:

ESTACIONAMIENTOS					
	TIPO DE LUMINARIO	FLUJO LUMINOSO PROMEDIO [lm]	POTENCIA DE LINEA UNITARIA [kW]	CANTIDAD DE LUMINARIOS	POTENCIA TOTAL [kW]
CASO BASE	VSAP	8,550	0.137	52	7.124
PROPUESTA	VAM Cerámicos	9,405	0.093	52	4.836

Tabla 5.11. VSAP VS VAM cerámicos en estacionamientos.

PASILLOS ENTRE EDIFICIOS					
	TIPO DE LUMINARIO	FLUJO LUMINOSO PROMEDIO [lm]	POTENCIA DE LINEA UNITARIA [kW]	CANTIDAD DE LUMINARIOS	POTENCIA TOTAL [kW]
CASO BASE	VSAP	3,600	0.070	34	2.38
PROPUESTA	VAM Cerámicos	4,300	0.047	34	1.598

Tabla 5.12. VSAP VS VAM cerámicos en pasillos.



Consumo en luminarios con lámparas de Vapor de Sodio en Alta Presión

Sumando la potencia total de VSAP en estacionamientos y pasillos se tiene:

$$kW_{VSAP \text{ total}} = kW_{VSAP \ 137W} + kW_{VSAP \ 70W} = 7.124 [kW] + 2.38 [kW] = 9.504 [kW]$$

Las lámparas operan todo el año de 7:00 pm a 7:00 am, es decir:

$$Total \ horas_{año} = 12 [h] * 365 \ días = 4 \ 380 [h]$$

Por lo que el consumo en kWh en un año es de:

$$\underline{Consumo \ VSAP [kWh] = Consumo_{año} = 9.504 [kW] * 4 \ 380 [h] = 41 \ 627.52 [kWh]}$$

Consumo en luminarios con lámparas de Vapor de Aditivos Metálicos Cerámicos

Sumando las potencias con VAM cerámicos en estacionamientos y pasillos:

$$kW_{VAM \ C \ total} = kW_{VAM \ C \ 93W} + kW_{VAM \ C \ 47W} = 4.836 [kW] + 1.598 [kW] = 6.434 [kW]$$

El consumo en un año es decir con 4 380 [h] es de:

$$\underline{Consumo \ VAM \ cerámicos [kWh] = Consumo_{año} = 6.434 [kW] * 4 \ 380 [h] = 28 \ 180.92 [kWh]}$$

Cálculo de ahorro de energía

El ahorro en potencia instalada es la diferencia de la potencia total entre VSAP y VAM Cerámicos:

$$kW_{VSAP \ total} - kW_{VSAM \ C \ total} = 9.504 [kW] - 6.434 [kW] = 3.07 [kW]$$

El ahorro en consumo de energía eléctrica se estima:

$$Consumo_{año} \ VSAP - Consumo_{año} \ VAM \ cerámicos = 13 \ 446.6 [kWh]$$

$$\underline{\% \ de \ ahorro \ en \ consumo = \frac{13 \ 446.6 \ kWh}{41 \ 627.52 \ kWh} * 100 = 32.30 \%}$$

Es decir con lámparas de Aditivos Metálicos Cerámico se estima un consumo de energía anual de 32.3% menos que con lámparas de Vapor de Sodio.



5.5 Instalación Eléctrica del Sistema de Iluminación

Una vez hecho la propuesta de iluminación, se realiza el diseño de los alimentadores para cada lámpara, pero antes el balanceo de carga. Cada luminario se alimenta a una tensión 220 [V] a dos fases.

BALANCEO DE CARGAS					
Zona	Potencia de Luminario [W]	Cantidad	CARGA EN DOS FASES [W]		
			A-B	B-C	A-C
EST. GRANDE	93	27	2,511	0	0
EST. CHICO	93	25	0	2,325	0
PASILLOS	80	3	0	240	0
	47	34	0	0	1,598
	80	12	0	0	960
TOTAL LUMINARIOS		101			
TOTAL [W]			2,511	2,565	2,558
POTENCIA TOTAL INSTALADA [W]			7,634		

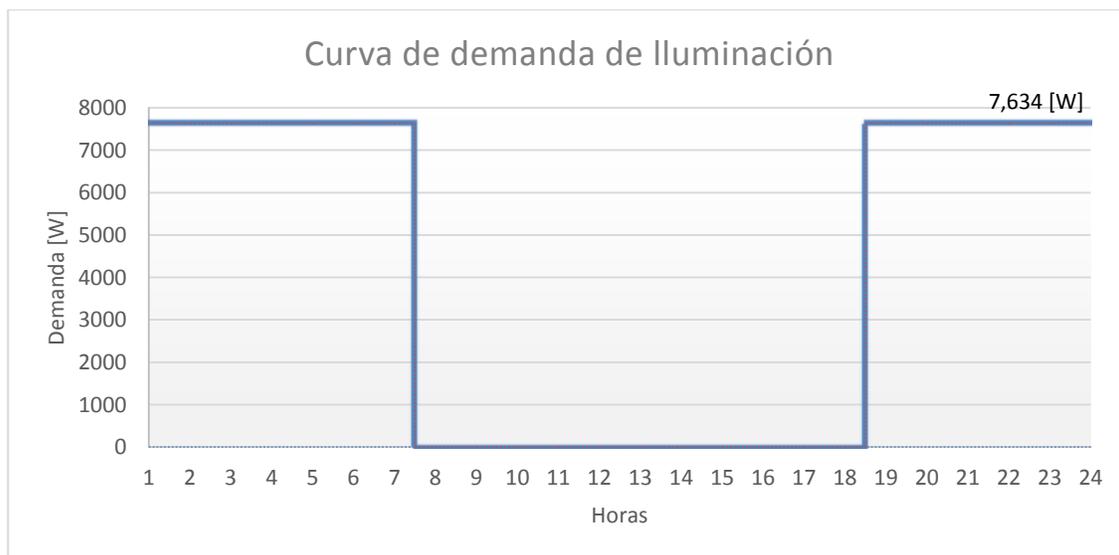
Tabla 5.13. Balanceo de carga entre fases y las zonas a iluminar.

El desbalance se calcula:

$$\begin{aligned}
 \text{Desbalance} &= \frac{\text{Carga mayor} - \text{Carga menor}}{\text{Carga mayor}} \times 100 \\
 &= \frac{2\,565 [W] - 2\,511 [W]}{2\,565 [W]} \times 100 = 2.1\%
 \end{aligned}$$

Recordando la NOM-001-SEDE-2012, establece que no se debe de exceder del 5% en el desbalance, por lo que se cumple.

Se tiene potencia total instalada es de 7 634 [W] y el factor de demanda es unitario.



Gráfica 5.1. Curva de demanda en un día para alumbrado de estacionamientos y exterior.



5.5.1 Selección de Elementos Eléctricos Circuitos Derivados 2 y 3

La alimentación será subterránea y después aérea desde la base del poste hasta el luminario. Los circuitos alimentadores y derivados se muestran en la imagen 5.18:

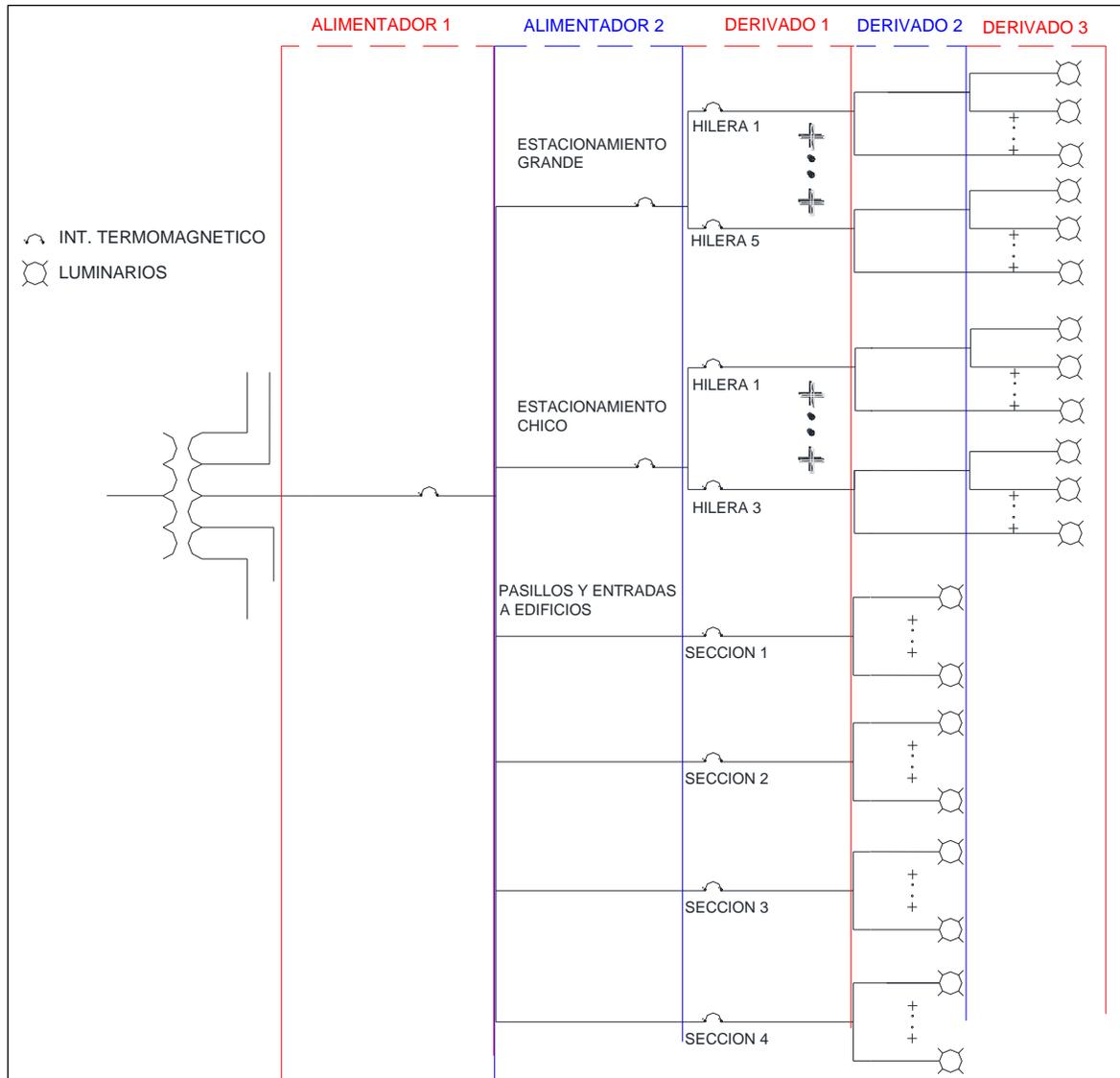


Imagen 5.18. Diagrama Unifilar de los circuitos del sistema de alumbrado.

Los circuitos derivados 2 y 3, comprenden de la base del poste hasta la lámpara (forma aérea). En estacionamientos se tienen postes con doble brazo y sin brazo, en pasillos con postes sin brazo (imagen 5.19).

La selección del calibre del conductor para los circuitos derivados, se realiza de forma similar a la metodología presentada en el Capítulo 4.

El cable que será utilizado es el THW-LS (ThermoplasticHeat and WaterResistantLowSmoke) con clase térmica de 75°C y conductor de cobre; ya que la NOM-001-SEDE-2012 permite su aplicación en circuitos de potencia y alumbrado en instalaciones residenciales, industriales y comerciales en donde se requiera seguridad en condiciones de incendio.

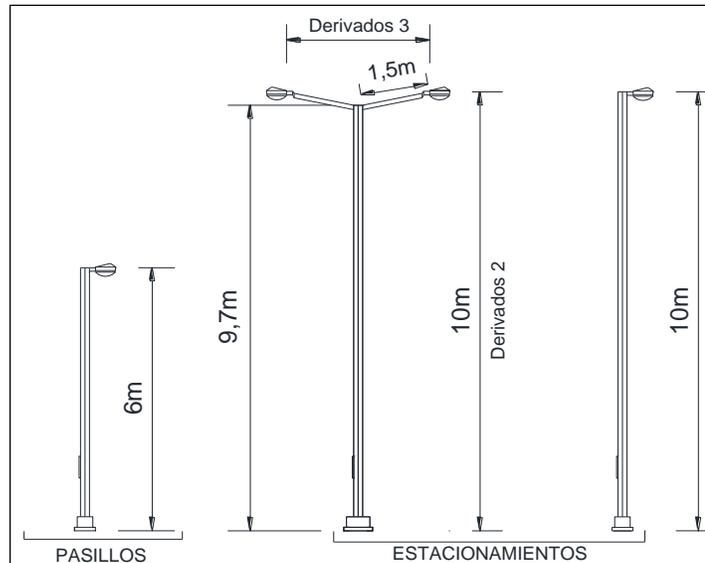


Imagen 5.19. Dimensiones de postes.

▪ **Corriente por luminario**

A continuación se calcula de forma fasorial las corrientes por luminario alimentadas por distintas fases, ya que será de gran utilidad para el cálculo del alimentador principal del sistema de alumbrado. Sin embargo para el cálculo de los equipos eléctricos será suficiente la magnitud de la corriente.

Luminario de 93 [W]

Fases A-B

El factor de potencia para este luminario es de 0.98 entonces se determina:

$$P = 93 [W] ; FP = 0.98$$

$$FP = \cos\theta \dots\dots a)$$

$$P_{luminario} = (V_{2\phi} * I_{2\phi} * FP) [W] \dots\dots b)$$

Desarrollando y despejando I_{93W} de b)

$$I_{93W} = \frac{P_{luminario}}{V_{2\phi} * FP} = \frac{93[W]}{220 [V] * 0.98} = 0.43[A]$$

Comprobando al determinar la impedancia y una tensión en $V_{AB} = 220[0^\circ][V]$

$$|Z_{AB}| = \frac{|V_{AB}|}{|I_{AB}|} = \frac{220 [V]}{0.43 [A]} = 511.62 [\Omega]$$

Desarrollando y despejando θ de a)

$$0.98 = \cos\theta$$

$$\cos^{-1}(0.98) = 11.47^\circ$$

$$\Rightarrow Z_{AB} = 511.62 [11.47^\circ] [\Omega]$$



$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{220[0^\circ[V]]}{511.62[11.47^\circ[\Omega]]} = \boxed{0.43[-11.47^\circ[A]]}$$

Fases B-C

La impedancia se conserva pero ahora a una tensión de $V_{BC} = 220[120^\circ[V]]$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220[120^\circ[V]]}{511.62[11.47^\circ[\Omega]]} = \boxed{0.43[108.53^\circ[A]]}$$

Luminario de 80 [W]

Fases B-C

El factor de potencia para este luminario es de 0.95 entonces se determina:

$$P = 80 [W] ; FP = 0.95$$

La corriente I_{80W} es:

$$I_{80W} = \frac{P_{luminario}}{V_{2\phi} * FP} = \frac{80[W]}{220 [V] * 0.95} = 0.38[A]$$

$$|Z_{BC}| = \frac{|V_{BC}|}{|I_{BC}|} = \frac{220 [V]}{0.38 [A]} = 578.95 [\Omega]$$

Desarrollando y despejando θ del factor de potencia:

$$\begin{aligned} 0.95 &= \cos\theta \\ \cos^{-1}(0.95) &= 18.2^\circ \end{aligned}$$

$$\Rightarrow Z_{BC} = 578.95 [18.2^\circ [\Omega]]$$

Entonces para una tensión entre fases de $V_{BC} = 220[120^\circ[V]]$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220[120^\circ[V]]}{578.95[18.2^\circ[\Omega]]} = \boxed{0.38[101.8^\circ[A]]}$$

Fases A-C

La impedancia se conserva pero a una tensión entre fases de $V_{CA} = 220[240^\circ[V]]$

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_{AC}} = \frac{220[240^\circ[V]]}{578.95[18.2^\circ[\Omega]]} = \boxed{0.38 [221.8^\circ[A]]}$$

Luminario de 47 [W]

Fases A-C

El factor de potencia para este luminario es de 0.98 entonces se determina:

$$P = 47 [W] ; FP = 0.98$$

La corriente I_{47W} es:

$$I_{47W} = \frac{P_{luminario}}{V_{2\phi} * FP} = \frac{47[W]}{220 [V] * 0.98} = 0.22[A]$$



$$|Z_{AC}| = \frac{|V_{AC}|}{|I_{AC}|} = \frac{220 [V]}{0.22 [A]} = 1000 [\Omega]$$

Despejando θ del factor de potencia:

$$\begin{aligned} 0.98 &= \cos\theta \\ \cos^{-1}(0.98) &= 11.47^\circ \\ \Rightarrow Z_{AC} &= 1000 [11.47^\circ [\Omega]] \end{aligned}$$

Entonces a una tensión entre fases de $V_{CA} = 220[240^\circ[V]$

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_{AC}} = \frac{220[240^\circ[V]}{1000[11.47^\circ [\Omega]]} = \boxed{0.22[228.53[A]}}$$

NOTA: Para la selección de calibre de conductor de los circuitos alimentadores debe considerarse como carga continua, ya que el sistema opera por más de tres horas.

▪ Selección del Calibre del Conductor en Circuitos Derivados 3

Estacionamiento Grande y Estacionamiento Chico

La corriente por luminario de 93 [W] es de 0.43 [A].

Se selecciona el calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A]. No es necesario calcular la caída de tensión por tener una distancia de 1.5 [m] y una corriente nominal de 0.43 [A], se puede pensar en elegir un calibre con capacidad mucho menor, sin embargo, el mínimo calibre a considerar por la NOM-001-SEDE 2012 es el calibre 14 AWG.

▪ Selección del Calibre del Conductor en Circuitos Derivados 2

Estacionamiento Grande y Estacionamiento Chico

En ambos estacionamientos se tienen mismos luminarios por lo tanto mismas magnitudes de corrientes. Además hay postes sin brazo (un luminario) y con doble brazo (dos luminarios). Los postes son metálicos y pueden alojar los conductores que alimentarán al luminario.

Selección del calibre del conductor para postes con doble brazo

La altura del poste hasta el punto donde se derivan los dos luminarios (ver imagen 5.19) es de 9.7 [m]. La corriente por luminario de 93 [W] es de 0.43 [A]. Entonces se multiplica por 2 luminarios:

$$I_{2luminarios} = 2 * 0.43 [A] = 0.86 [A]$$

Se selecciona el calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A]

Factores de Corrección

Se utiliza como canalización la estructura del poste metálico, contiene las dos fases más tierra física y considerando la temperatura ambiente de 25°C se tiene un factor de agrupamiento FA=1



además, recordando que el asilamiento es de clase térmica de 75°C a una temperatura ambiente entre 21 y 25°C se tiene un factor de temperatura FT de 1.05 por lo que:

$$FT=1.05 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A]*1.05*1=15.75 [A]$$

Caída de Tensión

Ahora revisaremos la Caída de Tensión, no puede superar el 2% para los circuitos derivados. La ecuación para calcular la caída de tensión en un sistema de dos fases, dos hilos es la siguiente:

$$e\% = \frac{2LI100(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff} * 1000}$$

La distancia es de 9.7 metros. Los valores de R y de X_L los obtendremos de la Tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012, dependerán del calibre del conductor obtenido y de la canalización a utilizar; el calibre es 14 AWG y la canalización un poste metálico. Además el factor de potencia del balastro es de 0.98 por lo tanto: $\cos\theta=.98$ mientras que $\text{sen}\theta=.2$ entonces:

$$R=10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L =.19 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 9.7[m] * 0.86[A] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.24[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 0.076\%$$

Es menor al 2% y cumple con la NOM-001. Por tanto se elige calibre 14 AWG.

Selección del calibre del conductor para postes sin brazo

Se elige el mismo calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A], ya que apenas hay una diferencia de 0.30 [m] en altura del poste, y se tiene un solo luminario de 0.43 [A].

Pasillos y entradas entre edificios

Hay dos potencias de luminarios con alturas de montaje distintas. Ambos instalados sin brazo (un luminario).

Luminarios de 80 [W]

El luminario tipo reflector de 80 W en la entrada de cada edificio, se encuentra una altura 12.5 metros. No tiene poste ya que está fijado a la pared del edificio. La corriente de línea es de:

$$I_{80W} = 0.38 [A]$$

Se selecciona el calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A].

Factores de Corrección

Se utiliza una canalización conduit metálico de acero, contiene las dos fases más tierra física, el factor de agrupamiento FA es de 1, el factor de temperatura FT de 1.05 entonces:

$$FT=1.05 \quad FA=1$$



Calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 A.

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A] * 1.05 * 1 = 15.75 [A]$$

Caída de Tensión

La distancia es de 12.5 metros. El calibre 14 AWG en canalización conduit de acero. El factor de potencia del balastro es de 0.95 por tanto el $\cos\theta = .95$ y $\sin\theta = .31$

$$R = 10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = .19 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 12.5[m] * 0.38[A] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .95) + (.19[\Omega/\text{Km}] * .31))}{220[V] * 1000} = 0.04\%$$

Es menor al 2% y cumple con la NOM-001. Por tanto se elige calibre 14 AWG.

Luminarios de 47 [W]

Los luminarios de 47 [W] se instalan a una altura de 6 [m] y el poste no cuenta con brazo, además se utiliza como canalización. Todos los postes sin brazo y los factores de corrección son los mismos.

Siguiendo el mismo procedimiento; considerando una corriente de línea de 0.22 [A], un factor de potencia del balastro de 0.98 se obtiene un calibre de 14 AWG con una caída de tensión de

$$e\% = \frac{2 * 6[m] * 0.22[A] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.24[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 0.012\%$$

El calibre 14 AWG cumple con la NOM-001. Por tanto se elige calibre 14 AWG.

▪ **Protección contra Sobrecarga**

Estacionamientos Grande, Chico y Pasillos

En cada poste ya sea de doble brazo o sin brazo, no existe una protección contra sobrecarga. Un conjunto de postes define un circuito y por cada circuito existirá una protección. Por ejemplo, en cada estacionamiento cierto número de postes definen circuitos llamados "hilera 1" "hilera 2" etc. Y cada "hilera" tiene un interruptor contra sobre carga.

▪ **Tamaño Nominal de los conductores de Puesta a Tierra**

La determinación del calibre de puesta a tierra depende del conocimiento de la capacidad del interruptor contra sobrecarga. Por lo tanto en este momento no se tiene conocimiento de dicha protección, y se determina en el Capítulo 6, donde se obtienen las protecciones para cada circuito.



Estacionamientos Grande, Chico y Pasillos

Canalización

En los luminarios que están a la entrada de los edificios la canalización es conduit metálico. Se tendrán dos conductores y una tierra física:

Circuito	N° Conductores	Fases(F) o Tierras Físicas(TF)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Área del Conductor mm ²	Subtotal mm ²
Entrada a edificios	2	F y F	THW-LS	14	8.96	17.92
	1	TF	Desnudo	14	2.54	2.54
					Σ total	20.46

Tabla 5.14. Canalización para luminario de 80 W.

De acuerdo al Tabla 4, Artículo 342 “Tubo conduit metálico semipesado” de la NOM-001-SEDE-2012, se selecciona una tubería de 16 mm (1/2”) ya que tiene 89 mm² al alojar más de 2 conductores. Cumpliendo así con lo necesario para la canalización de los conductores que alimentan a la lámpara.



CAPITULO 6

DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA SUBTERRANEO

Para el diseño eléctrico del sistema subterráneo es necesario hacer referencia a las Normas de Distribución-Construcción de Sistemas Subterráneos, elaboradas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que establece los criterios, métodos, equipos y materiales utilizados en la planeación, proyecto y construcción de Redes de Distribución Subterránea que permitan lograr con la máxima economía, instalaciones eficientes que requieran un mínimo de mantenimiento, estas Normas son aplicables en desarrollos residenciales de nivel alto, medio, interés social, vivienda económica, poblaciones rurales rehabilitadas, electrificación rural y vivienda popular.

El sistema subterráneo se compone de la siguiente manera:

Baja Tensión

- Circuitos a edificios
- Circuitos para el sistema de alumbrado

Media Tensión

- Sistema de distribución para la unidad habitacional

6.1 Instalación Subterránea Baja Tensión

6.1.1 Circuito a un Edificio

Un circuito alimentador se conforma por conductores de un circuito entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado u otra fuente de alimentación y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente.

Se considera circuito derivado aquel que alimenta a cada edificio.

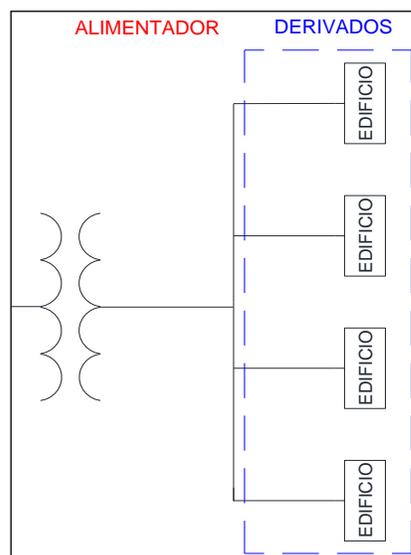


Imagen 6.1. Circuito alimentador y derivado del Sistema de Distribución para edificios.



En caso que los circuitos de baja tensión alimenten exclusivamente concentraciones de medidores, el cable a utilizar podrá ser cobre tipo THHW-LS (Thermoplastic High HeatWaterResistant) de 600 V sin conexiones intermedias, la longitud debe ser tal que no se excedan los límites de caída de tensión y pérdidas, las cuales no deben ser superiores al 2%.



Imagen 6.2. Cable THHW-LS.

Selección de Elementos Eléctricos para Circuito Derivado Principal

Retomando datos del Capítulo 2, se determinó que la demanda máxima del edificio, ocurre a las 20 [h]:

$$D_{m\acute{a}x_{edif}} = 49\ 178 [W]$$

▪ **Corriente demandada por el edificio**

$$I_{edificio} = \frac{49,178[W]}{\sqrt{3} * 220[V] * 0.9} = \boxed{143.39 [A]}$$

La selección del calibre del conductor se realiza de la misma forma que se hizo anteriormente, con la diferencia de que ahora es un sistema trifásico subterráneo.

▪ **Selección de Calibre del Conductor**

De acuerdo a la nota del Artículo 110-14 de la NOM-001, cuando se trata de corrientes mayores a 100 [A], se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C, de la Tabla 310-15(b)(16).

El calibre 2/0 AWG es capaz de conducir hasta 175 [A] es por ello que es el calibre inicialmente seleccionado para nuestra corriente de 143.39 [A].

Factores de Corrección

Se utilizara canalización de ducto de PAD (Polietileno de Alta Densidad) independiente para la alimentación de cada edificio, esta contendrá las tres fases y el neutro.

$$FT=1.05 \quad FA=.8$$

Capacidad de conducción calibre 2/0 AWG=175[A]

$$175[A]*1.05*.8=147 [A]$$

Este será el calibre que seleccionaremos para cada una de las fases y el neutro.

Caída de Tensión

El valor máximo de caída de tensión para los circuitos de baja tensión no debe exceder del 3 % para sistemas monofásicos y del 5 % para trifásicos, desde el transformador hasta el



registro más lejano. El valor máximo de las pérdidas de potencia en demanda máxima no debe exceder del 2 %.

Se hace una revisión de los valores del porcentaje de caída de tensión obtenidos en los circuitos analizados en capítulo 4: derivados 1 y 2. La tabla 4.13 (Capítulo 4), contiene los porcentajes de caída de tensión en los circuitos derivados 1, además de los diagramas unifilares para considerar la caída de tensión en circuitos derivados 2.

Únicamente basta con considerar los mayores valores de porcentaje de caída de tensión, para que al sumar todos los valores se garantice una caída total menor al 5%.

Circuitos derivados para Departamentos Chicos

El mayor porcentaje en los circuitos derivados 1 se presenta en el 3 nivel (tabla 4.13) y para el caso de circuitos derivado 2, el circuito de contactos tiene el porcentaje mayor.

Para los departamentos Chicos tenemos los valores siguientes:

Circuito Derivado 1 (3 Nivel): $e=1.53\%$

Circuito Derivado 2 (Contactos): $e=1.61\%$

$$1.53\% + 1.61\% = 3.14\%$$

$$5\% - 3.14\% = \underline{1.86\%}$$

Circuitos derivados para Departamentos Grandes

Usando la misma lógica para los departamentos grandes:

Circuito Derivado 1 (4 Nivel): $e=1.63\%$

Circuito Derivado 2 (Contactos): $e=1.54\%$

$$1.63\% + 1.54\% = 3.17\%$$

$$5\% - 3.17\% = \underline{1.83\%}$$

Se observa que, los departamentos grandes tiene el porcentaje menor de caída de tensión, este valor representa la máxima caída de tensión que pueden tener los circuitos derivados (imagen 6.1) que se están calculando para que cumpla con la norma, es decir el porcentaje en caída de tensión para el circuito que alimenta a un edificio no puede ser mayor a 1.83%.

La ecuación para calcular la caída de tensión en un sistema a tres fases es la siguiente:

$$e\% = \frac{\sqrt{3}LI100(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff} * 1000}$$

Para un calibre 2/0 AWG. La distancia máxima que existe de un registro a la concentración de medidores dentro del edificio es de 35 [m].

$$R=.33 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L =.141[\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 35[m] * 143.39[A] * 100((.33[\Omega/\text{Km}] * .9) + (.141[\Omega/\text{Km}] * .43))}{220[V] * 1000} = 1.41\%$$



El porcentaje es menor a lo requerido. Por tanto se elige calibre 2/0 AWG.

Se suman las caídas de tensión en circuitos derivados:

$$e\%_{\text{derivado principal}} + e\%_{\text{derivado 1}} + e\%_{\text{derivado 2}}$$

$$1.41\% + 1.63\% + 1.54\% = 4.58\%$$

Está casi al límite de la tolerancia en caída de tensión del 5%, sin embargo este es el caso extremo, si sumáramos la caída de tensión en otros circuitos, nos daríamos cuenta que el valor es menor. Sin embargo aún falta considerar un el circuito alimentador, así que el porcentaje de caída de tensión del alimentador debe ser menor a:

$$e\% = 5\% - 4.58\% = \underline{0.42\%}$$

▪ Canalizaciones

Las normas de Distribución-Construcción de Sistemas Subterráneos de CFE indican que los circuitos de baja tensión deben instalarse en ductos de PADC o PAD (Polietileno de Alta Densidad); considerando siempre, que deben respetarse los factores de relleno establecidos por la NOM-001-SEDE-2012. Estos ductos se utilizan para alojar en su interior conductores subterráneos para protegerlos contra daños mecánicos.



Imagen 6.3. Ducto de PAD

Cada ducto alimentara a un edificio, por lo que llevara cuatro cables calibre 2/0 AWG (3 fases y neutro).

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro)	Tipo aislamiento	Calibre kcmill	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Conductor [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Alimentación Edificio	4	F y N	THHW-LS	2/0	175	147	143.39	169.3	677.2
								Σ total	677.2

Tabla 6.1. Área de Conductores dentro del ducto PAD

El factor de relleno para este caso es del 40%. En la tabla 6.2 se observan algunos diámetros comerciales de ducto PAD, para poder elegir el diámetro de la canalización. Revisando la tabla 6.2 se elige un ducto PAD de 50 [mm].



Diámetro mm	Área interior Total [mm ²]	Área disponible para Conductores [mm ²] fr=40%
38	1135	454
50	1964	785
75	4418	1 767
100	7854	3 141

Tabla 6.2. Áreas de ductos PAD

6.1.2 Circuitos para Sistema de Alumbrado

La instalación eléctrica subterránea para el sistema de alumbrado comprende los circuitos **derivados 1, alimentadores 2 y alimentadores 1 (NO confundir con los circuitos a un edificio)**. En el orden mencionado serán calculados los elementos eléctricos para cada circuito. Se toma la magnitud de la corriente por luminario. La canalización a utilizar es tubo HDPE (High Density Polyethylene) o también llamado PAD.

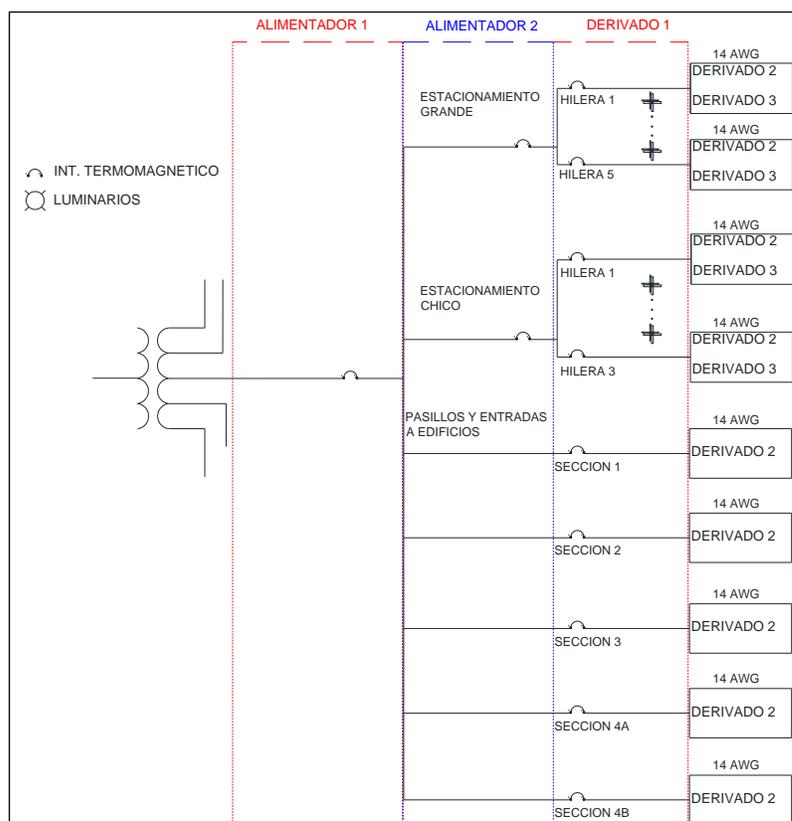


Imagen 6.4. Diagrama de circuitos en el sistema de alumbrado

Selección de los Elementos Eléctricos para Circuitos Derivados 1

El cable que será utilizado para la instalación subterránea es el RHW-2 LS (RubberHeatWaterLowSmoke) con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLP) con clase térmica de 90 °C. Su aplicación es permitida para circuitos de potencia y alumbrado en instalaciones subterráneas en donde se necesita resistencia mecánica, en ambiente seco y húmedo. El conductor es de cobre.



Imagen 6.5. Cable RHW-2 con aislamiento de polietileno de cadena cruzada resistente al calor y humedad.

▪ **Corrientes de luminarios**

En el capítulo 5 se calcularon las corrientes de cada luminario en su forma fasorial, como se puntualizó en dicho capítulo, la necesidad de calcularlo de esa forma será para el circuito alimentador.

Recordando entonces solamente los resultados:

Potencia Luminario [W]	93 [W]	93 [W]	80 [W]	80 [W]	47 [W]
Fases	A-B	B-C	B-C	A-C	A-C
$I \varnothing$ [A]	0.43[-11.47°]	0.43[108.53°]	0.38[101.8°]	0.38 [221.8°]	0.22[228.53]

Tabla 6.3. Corrientes de luminarios.

▪ **Selección del Calibre del Conductor**

Estacionamiento Grande

El circuito derivado 1 (imagen 6.6) en estacionamiento grande se compone de cinco hileras. Debido a la geometría del estacionamiento, cada hilera varía en longitud y cantidad de luminarios:

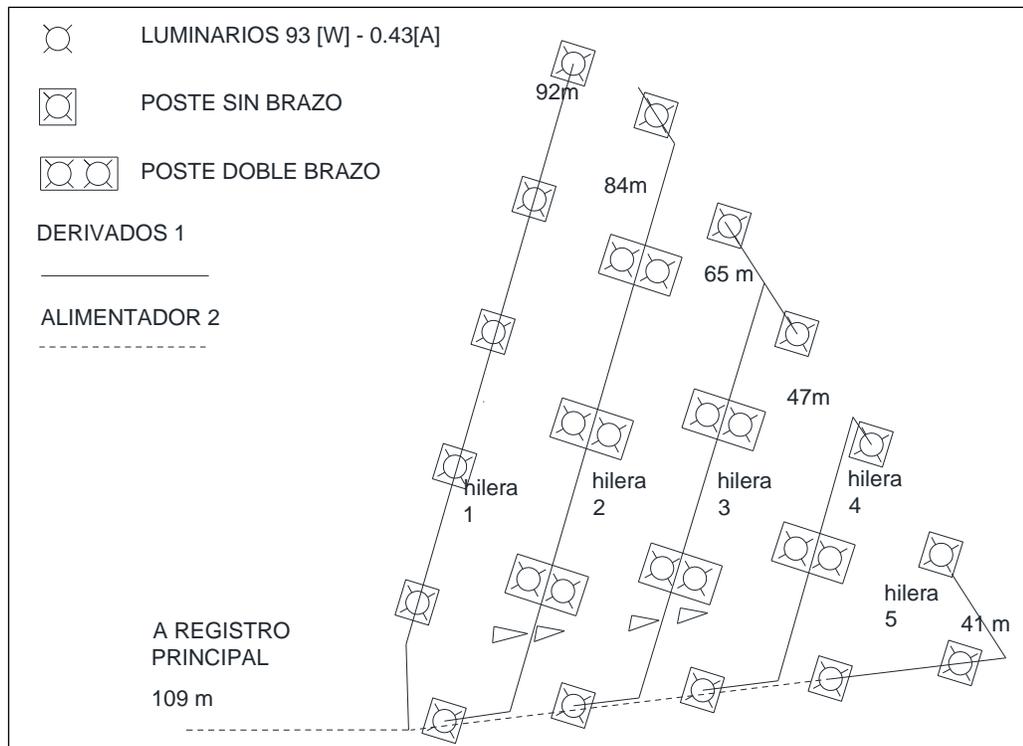


Imagen 6.6. Diagrama de circuitos en estacionamiento grande.

DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO GRANDE (FASES A-B)						
Zona		HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3	HILERA 4	HILERA 5
Postes	Doble brazo	-	3	2	1	-
	Sin brazo	5	2	3	2	3
Corriente por hilera [A]		2.15	3.44	3.01	1.72	1.29
Distancia [m]		92	84	65	47	41

Tabla 6.4. Postes por cada hilera.

Se anexará una tabla donde se resumen los cálculos para todas las hileras. Sin embargo, para ejemplificar se toma la que tiene mayor carga: "HILERA 2". Cuenta con 3 postes con doble brazo y 2 postes sin brazo, alimentados por las fases A-B. Entonces la corriente en dicha hilera es:

$$I_{hilera} = (3 * 0.86) + (2 * 0.43)[A] = \boxed{3.44 [A]}$$

Se selecciona el calibre 14 AWG, ya que los circuitos derivados 2 y 3 tienen como calibre mayor 14 AWG (ver Imagen 6.4) con capacidad de conducción de 15 [A].

Factores de Corrección

Se utiliza una canalización PAD (Polietileno de Alta Densidad) que contendrá las dos fases por lo que el factor de agrupamiento FA es de 1 y recordando que el aislamiento es de clase térmica de 90°C a una temperatura ambiente entre 21-25°C se tiene un factor de temperatura FT de 1.04 así:

$$FT=1.04 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A], la corrección de capacidad es:



$$15[A] * 1.04 * 1 = 15.6 [A]$$

El calibre 14 AWG, es suficiente para la hilera. Comprobar ahora por caída de tensión.

Caída de Tensión

La ecuación para calcular la caída de tensión en un sistema a dos fases es la siguiente:

$$e\% = \frac{2LI100(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff} * 1000}$$

La longitud de la hilera es de 84 [m]. El factor de potencia del balastro es de 0.98 por lo que el $\cos\theta = .98$ mientras que $\text{sen}\theta = .2$ y para un calibre 14 AWG:

$$R = 10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = .190 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 84[m] * 3.44[A] * 100((10.2[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.19[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 2.63\%$$

La caída de tensión es superior al 2%. Se comprueba con un calibre mayor.

Para un calibre de 12 AWG con capacidad de conducción de 20 [A], con una resistencia y reactancia de:

$$R = 6.6 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = 0.177[\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 84[m] * 3.44[A] * 100((6.6[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.177[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 1.71\%$$

Con una caída de tensión menor de 2%, se elige el calibre 12 AWG en HILERA 2.

DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO GRANDE (FASES A-B)					
Zona	HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3	HILERA 4	HILERA 5
Corriente por hilera [A]	2.15	3.44	3.01	1.72	1.29
Distancia [m]	92	84	65	47	41
Calibre Conductor (AWG)	12	12	12	12	12
Caída de Tensión [%]	1.17	1.71	1.16	0.48	0.31

Tabla 6.4.1 Caídas de tensión para hileras en estacionamiento grande.

Estacionamiento Chico

Se tienen tres hileras que conforman el circuito derivado 1. Debido a la geometría del estacionamiento, cada hilera varía en su longitud y cantidad de luminarios (ver imagen 6.7). Se anexará una tabla donde se resumen los cálculos para todas las hileras. Sin embargo, se tomará "HILERA 2" como ejemplo para el cálculo del calibre del conductor.

DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO CHICO (FASES B-C)				
Zona		HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3
Postes	Doble brazo	-	2	-
	Sin brazo	9	7	5
Corriente por hilera		3.87	4.73	2.15
Distancia [m]		130	130	142

Tabla 6.5. Postes por hilera.

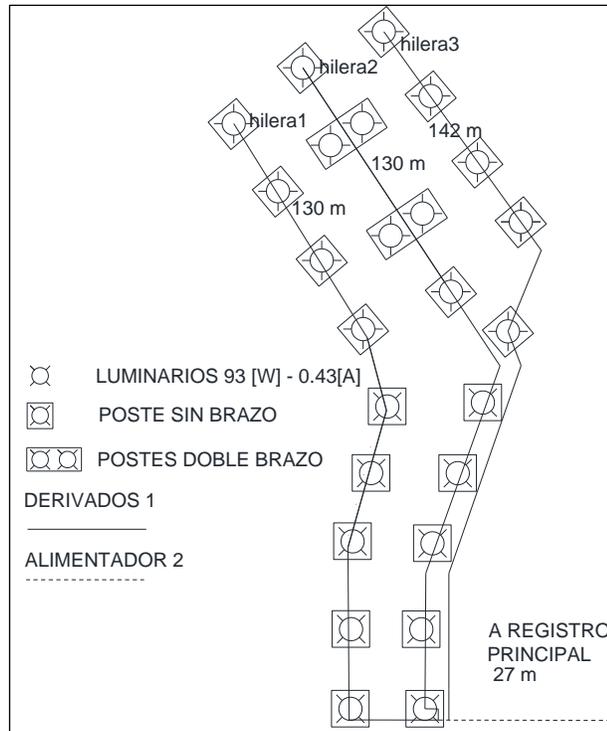


Imagen 6.7. Diagrama de circuitos en estacionamiento chico.

Factores de Corrección

Se utiliza canalización PAD y contendrá las dos fases:

$$FT=1.04 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A]*1.04*1=15.6 [A]$$

Caída de Tensión

Después de dos iteraciones para: un factor de potencia de balastro de 0.98 ($\cos\theta=.98$ $\sin\theta=.2$) una distancia de 130 [m], un calibre de 10 AWG con capacidad de conducción de 30 [A]:

$$R=3.9 [\Omega/Km] \quad X_L =.164[\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{2 * 130[m] * 4.73[A] * 100((3.9[\Omega/Km] * .98) + (.164[\Omega/Km] * .2))}{220[V] * 1000} = 1.89\%$$

Con una caída de tensión alrededor del 2%, se elige el calibre 10 AWG en "HILERA 2".



DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO CHICO (FASES B-C)			
Zona	HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3
Corriente por Hilera [A]	3.87	4.73	2.15
Distancia [m]	130	130	142
Calibre Conductor (AWG)	10	10	10
Caída de Tensión [%]	1.76	1.89	1.07

Tabla 6.5.1. Caídas de tensión en hileras de estacionamiento chico.

Pasillos y entradas entre edificios

Se delimitan cuatro secciones en los pasillos, los cuales conforman el circuito derivado 1. Cada sección varía en su longitud, además de cantidad y potencia de luminarios.

Cada sección se divide en dos circuitos (entradas y pasillos). Es proporcional la longitud del circuito con el calibre a seleccionar, además hay que considerar que se tienen pequeñas corrientes.

PASILLOS Y ENTRADAS				
Zona	SECCION 1		SECCION 2	
	Entradas	Pasillo	Entradas	Pasillo
	FASES A-C		FASES A-C	
Potencia de luminario [A]	47 [W] 80 [W]	47 [W]	47 [W] 80 [W]	47 [W]
Cantidad de Luminarios	2x47 [W] 4x80 [W]	5x47 [W]	4x47 [W] 2x80 [W]	5x47[W]
Distancia [m]	100	82	128	86

Tabla 6.6. Cantidad de luminarios en secciones 1 y 2.

La "SECCION 4" se distribuye como lo muestra la tabla 6.7, considerando el balanceo de carga (Tabla 13) que se realizó para todo el sistema de iluminación.

PASILLOS Y ENTRADAS						
Zona	SECCION 3		SECCION 4			
	Entradas	Pasillo	Entrada 1		Entrada 2	
	FASES A-C		FASES B-C	FASES A-C	FASES B-C	FASES A-C
Potencia de luminario [A]	47 [W] 80 [W]	47 [W]	80 [W]	47 [W]	80 [W]	47 [W] 80 [W]
Cantidad de Luminarios	5x47 [W] 5x80 [W]	9x47[W]	2x80 [W]	2x47 [W]	1x80 [W]	2x47 [W] 1x80 [W]
Distancia [m]	170	149	37	22	41	81

Tabla 6.7. Cantidad de luminarios en seccion 3 y 4.

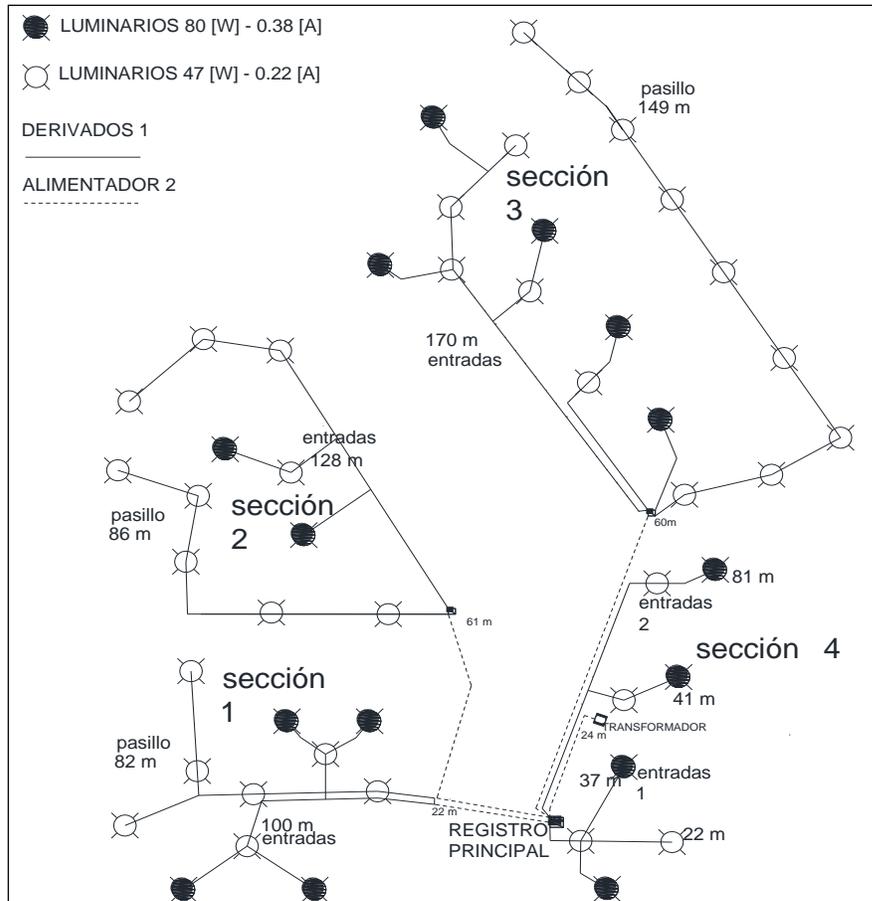


Imagen 6.8. Diagrama de pasillos y entradas.

La “SECCION 4” en “Entrada 1” tiene cuatro luminarios; dos alimentados por las fases B-C y dos por las fases A-C. Para ejemplificar el cálculo se toman los luminarios alimentados por B-C.

Dos luminarios de 80 [W] con corriente de línea de 0.38 [A] cada uno. Por lo que la corriente en las fases B-C es de:

$$I_{Entrada1 BC} = (2 * 0.38 [A]) = \boxed{0.76 [A]}$$

Se selecciona el calibre 14 AWG, ya que los circuitos derivados 2 en pasillos y entradas, se tienen como calibre mayor 14 AWG (ver imagen 6.4) con capacidad de conducción de 15 [A].

Factores de Corrección

Se utiliza canalización de PAD contendrá cinco conductores (cuatro fases más tierra física) ya que para “Entrada 1” se utiliza una sola canalización, por tanto:

$$FT=1.04 \quad FA=0.8$$

$$\text{Capacidad de conducción calibre 14 AWG} = 15[A]$$

$$15[A] * 1.04 * 0.8 = 12.48 [A]$$

Se selecciona el calibre 14 AWG. Comprobar por caída de tensión.



Caída de Tensión

Para una distancia de 37 [m], un calibre de 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A] y el factor de potencia del balastro de 0.95 ($\cos\theta=.95$ y $\text{sen}\theta=.31$) se obtiene:

$$R=10.2 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L =.19 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 37 * 0.76 * 100((10.2 * .95) + (.19 * .31))}{220 * 1000} = 0.25\%$$

Con una caída de tensión mucho menor de 2%, se elige el calibre 14 AWG en fases A-B, ya que asegura una caída de tensión en todos los circuitos derivados, menor al 2%.

A continuación se muestran las corrientes por zona y caídas de tensión para el resto de las secciones. Existen luminarios de dos potencias distintas que comparten mismas fases de alimentación, así que sólo para pasillos y entradas se determinan en forma fasorial sus corrientes.

NOTA: Se tienen calibres grandes en algunas zonas de pasillos y entradas, por la distancia que se tiene desde el punto de distribución o registro principal hasta el transformador que alimenta al sistema de alumbrado. Se establece un punto en el que sea más conveniente para el proyecto. Así entonces es posible tener varias posibilidades de puntos dónde colocar el registro principal sin superar las máximas caídas de tensión.

DERIVADOS 1 PASILLOS Y ENTRADAS				
Zona	SECCION 1		SECCION 2	
	Entradas	Pasillo	Entradas	Pasillo
	FASES A-C		FASES A-C	
Corriente(s) de luminario(s) [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A]
Cantidad de Luminarios	2x0.22 [A] 4x0.38 [A]	5	4x0.22 [A] 2x0.38 [A]	5
Corriente por zona [A]	1.96[223.31°]	1.1[228.53°]	1.64[225.42°]	1.1[228.53°]
Distancia [m]	100	82	128	86
Calibre Conductor (AWG)	12	14	12	14
Caída de Tensión [%]	1.13	0.82	1.21	0.86

Tabla 6.8.1. Caída de tensión por zona.



DERIVADOS 1 PASILLOS Y ENTRADAS						
Zona	SECCION 3		SECCION 4			
	Entradas	Pasillo	Entrada 1		Entrada 2	
	FASES A-C		FASES B-C	FASES A-C	FASES B-C	FASES A-C
Corriente(s) de luminario(s) [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A]	0.38 [A]	0.22 [A]	0.38 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]
Cantidad de Luminarios	5X0.22 [A] 5x0.38 [A]	9	2	2	1	2x0.22 [A] 1x0.38 [A]
Corriente por zona [A]	3[224.2°]	1.98[228.53°]	0.76[101.8°]	0.44[228.53°]	0.38[101.8°]	0.82[225.42°]
Distancia [m]	170	149	37	22	41	81
Calibre Conductor (AWG)	10	10	14	14	14	14
Caída de Tensión [%]	1.74	1.03	0.25	0.09	0.14	0.59

Tabla 6.8.2. Caída de tensión por zona.

▪ **Protección contra Sobre Carga**

Estacionamiento Grande

En el circuito “HILERA 2” se utiliza calibre 12 AWG con capacidad de conducción de 20 [A]:

$$0.8 * 20 [A] = 16 [A]$$

Se elige un interruptor termomagnético de dos polos de 10 [A] porque la corriente nominal del circuito “HILERA 2” es de 3.44 [A].

Estacionamiento Chico

En el circuito “HILERA 2” se utiliza calibre 10 AWG con capacidad de conducción de 30 [A]:

$$0.8 * 30 [A] = 24 [A]$$

Se elige un interruptor termomagnético de dos polos de 10 [A]. La corriente nominal del circuito analizado es de 4.73 [A].

Pasillos y entradas entre edificios

En el circuito “Entrada 1 BC” se utiliza calibre 14 AWG con capacidad de conducción de 15 [A]:

$$0.8 * 15 [A] = 12 [A]$$

Se elige un interruptor termomagnético de dos polos de 10 [A]. La corriente nominal del circuito es 0.76 [A].



▪ **Tamaño Nominal de los conductores de Puesta a Tierra**

Estacionamiento Grande

Se eligió un interruptor con capacidad de 10 [A]. En base a esta capacidad y de acuerdo a la Tabla 250-122 de la NOM-001 se obtiene un calibre de 14 AWG para tierra física. Después de los cálculos de caída de tensión se compensó un calibre, mismo número se compensa para el conductor de tierra física. Como resultado se obtiene un calibre de 12 AWG para tierra física.

Estacionamiento Chico

Se eligió un interruptor con capacidad de 10 [A]. Corresponde un calibre 14 AWG para tierra física. Después de los cálculos de caída de tensión se compensó dos calibres, mismo número se compensa para el conductor de tierra física. Como resultado se obtiene un calibre de 10 AWG para tierra física.

Pasillos y entradas entre edificios

Se selecciona un interruptor de 10 [A]. Corresponde a un calibre 14 AWG para tierra física, y al no realizar ninguna compensación, no se altera el calibre.

▪ **Canalización**

Estacionamiento Grande

Se tienen dos conductores y una tierra física alojados en la tubería PAD. Los dos conductores y tierra física son de calibre 12 AWG.

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, TF tierra física)	Conductor	AWG	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Cond. [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Hileras	2	F y F	RHW-2 LS	12	20	20.8	3.44	16.67	33.34
	1	TF	Desnudo	12	-	-	-	3.31	3.31
								∑ total	36.65

Tabla 6.9. Canalización para hileras en estacionamientos.

De acuerdo al Tabla 4, Artículo 352 y 353 “Tubo conduit HDPE” de la NOM-001-SEDE-2012, se selecciona una tubería de 16 mm (1/2”) ya que tiene un área disponible de 74 mm² para alojar más de 2 conductores.



Estacionamiento Chico

Se tienen dos conductores y una tierra física alojados en la tubería PAD. Los dos conductores y tierra física son de calibre 10 AWG.

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, TF tierra física)	Conductor	AWG	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Cond. [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Hileras	2	F y F	RHW-2 LS	10	30	31.2	4.73	21.48	42.96
	1	TF	Desnudo	10	-	-	-	6.63	5.26
								Σ total	48.22

Tabla 6.10. Canalización para hileras en estacionamientos.

De acuerdo al Tabla 4, artículo 352 y 353, de la NOM-001-SEDE-2012, se selecciona una tubería de 16 mm (1/2") ya que tiene un área disponible de 74 mm² para alojar más de 2 conductores.

Pasillos

En el cálculo de selección de conductor se consideraron cuatro conductores y una tierra física. Los cuatro conductores son de calibre 14 AWG y la tierra física también. El tamaño de la tubería para uno de los circuitos de pasillos se tiene:

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, TF tierra física)	Conductor	AWG	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Cond. [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Hileras	4	F- F- F- F	RHW-2 LS	14	15	12.48	0.76	13.48	53.92
	1	TF	Desnudo	14	-	-	-	2.08	2.08
								Σ total	56

Tabla 6.11. Canalización para ENTRADAS 1 de la Sección 4.

Se obtiene de forma similar y se selecciona una tubería de 16 mm (1/2").

Resumen de elementos eléctricos que componen a Circuitos Derivados 1

A continuación se anexan tablas de síntesis para cada zona.

DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO GRANDE (FASES A-B)					
Zona	HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3	HILERA 4	HILERA 5
Corriente por hilera [A]	2.15	3.44	3.01	1.72	1.29
Distancia [m]	92	84	65	47	41
Calibre Conductor (AWG)	12	12	12	12	12
Protección	10 [A]				
Calibre Tierra Física (AWG)	12	12	12	12	12



Total de hilos	3	3	3	3	3
Tubo PAD [mm]	16	16	16	16	16
Caída de Tensión [%]	1.17	1.71	1.16	0.48	0.31

Tabla 6.12. Elementos eléctricos para cada hilera del estacionamiento grande.

DERIVADOS 1 ESTACIONAMIENTO CHICO (FASES B-C)			
Zona	HILERA 1	HILERA 2	HILERA 3
Corriente por Hilera [A]	3.87	4.73	2.15
Distancia [m]	130	130	142
Calibre Conductor (AWG)	10	10	10
Protección	10 [A]	10 [A]	10 [A]
Calibre Tierra Física (AWG)	10	10	10
Total de hilos	3	3	3
Tubo PAD [mm]	16	16	16
Caída de Tensión [%]	1.76	2.15	1.07

Tabla 6.13. Elementos eléctricos para cada hilera del estacionamiento chico.

Particularmente en “Pasillos y entradas entre edificios” se divide en secciones que a su vez se dividen en otros circuitos, con el objetivo de que se tenga un control independiente a cada zona asignada y si ocurriese una falla en un circuito derivado 1, el área afectada sea la mínima.

DERIVADOS 1 PASILLOS Y ENTRADAS				
Zona	SECCION 1		SECCION 2	
	Entradas	Pasillo	Entradas	Pasillo
	FASES A-C		FASES A-C	
Corriente por zona [A]	1.96	1.1	1.64	1.1
Distancia [m]	100	82	128	86
Calibre Conductor (AWG)	12	14	12	14
Protección	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]
Calibre Tierra Física (AWG)	12	14	12	14
Total de hilos	3	3	3	3
Tubo PAD [mm]	16	16	16	16
Caída de Tensión [%]	1.13	0.82	1.21	0.86

Tabla 6.14. Elementos eléctricos de las secciones 1 y 2.



DERIVADOS 1 PASILLOS Y ENTRADAS						
Zona	SECCION 3		SECCION 4			
	Entradas	Pasillo	Entrada 1		Entrada 2	
	FASES A-C		FASES B-C	FASES A-C	FASES B-C	FASES A-C
Corriente por zona [A]	3	1.98	0.76	0.44	0.38	0.82
Distancia [m]	170	149	37	22	41	81
Calibre Conductor (AWG)	10	10	14	14	14	14
Protección	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]
Calibre Tierra Física (AWG)	10	10	14		14	
Total de hilos	3	3	5		5	
Tubo PAD [mm]	16	16	16		16	
Caída de Tensión [%]	1.74	1.03	0.25	0.09	0.14	0.59

Tabla 6.15. Elementos eléctricos de la sección 3 y 4



Selección de los Elementos Eléctricos para Circuitos Alimentadores 2

Los circuitos alimentadores 2 son los que alimentan a cada zona. En pasillos y entradas se tienen distribuidos varios circuitos alimentadores 2. A continuación se muestra en la Imagen 24 el total de luminarios por cada zona así como las fases que los alimentan.

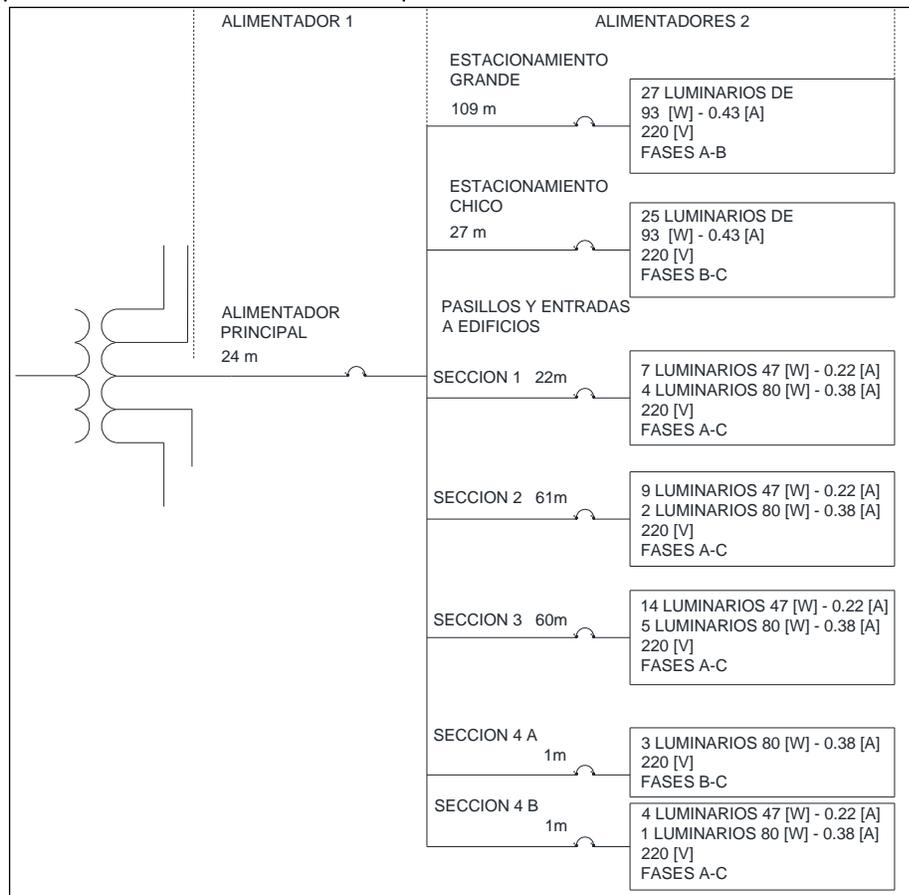


Imagen 6.9. Circuitos alimentadores del alumbrado.

Las corrientes se utilizan en forma fasorial ya que será de utilidad para el cálculo del circuito alimentador principal.

Selección del Calibre del Conductor

Estacionamiento Grande

En el estacionamiento grande se tienen 27 luminarios de 93 [W] alimentados a una tensión de $220\angle 0^\circ [V]$ entre las fases A-B. Recordando que la corriente para un luminario se obtuvo:

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{220\angle 0^\circ [V]}{511.62\angle 11.47^\circ [\Omega]} = 0.43\angle -11.47^\circ [A]$$

Entonces para 27 luminarios:

$$I_{AB)total} = 27 * 0.43\angle -11.47^\circ [A]$$

$$\boxed{I_{AB)total} = 11.61\angle -11.47^\circ [A]}$$



Se selecciona el calibre 10 AWG con una capacidad de 30 [A]. Pudiera pensar que se puede elegir un calibre menor, sin embargo en circuitos derivados 1 el calibre 10 AWG es el mayor de los circuitos nombrados HILERAS. Por lo tanto no puede elegirse uno menor.

Factores de Corrección

Se utiliza canalización PAD contendrá las dos fases y una tierra física por lo que el factor de agrupamiento FA es de 1 y recordando que el asilamiento es de clase térmica de 90°C a una temperatura ambiente entre 21-25°C se tiene un factor de temperatura FT de 1.04 por lo que:

$$FT=1.04 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A] * 1.04 * 1 = 15.6 [A]$$

El calibre 10 AWG se elige. Ahora se comprueba por caída de tensión.

Caída de Tensión

La distancia desde el punto de distribución al estacionamiento grande es de 109 [m]. El factor de potencia del balastro es de 0.98 por lo que el $\cos\theta = .98$ mientras que $\sin\theta = .2$ y para un calibre 10 AWG:

$$R=3.9 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = .164 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 109[m] * 11.61[A] * 100((3.9[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.164[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 4.43\%$$

La caída de tensión no debe ser superior al 2% en alimentadores, se elige calibre mayor.

Después de tres iteraciones, un calibre de 4 AWG con capacidad de conducción de 70[A]:

$$R=1.02 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = .157 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 109[m] * 11.61[A] * 100((1.02[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.157[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 1.19\%$$

La caída de tensión es menor al 2%. El calibre a elegir es 4 AWG.

Estacionamiento Chico

En el estacionamiento chico se tienen 25 luminarios de 93 [W] alimentados a una tensión de 220[120°V] entre fases B-C. Recordando que la corriente para un luminario se obtuvo:

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220[120^\circ V]}{511.62[11.47^\circ \Omega]} = 0.43[108.53^\circ A]$$

Para 25 luminarios:

$$I_{BC)total} = 25 * 0.43[108.53^\circ A]$$

$$I_{BC)total} = 10.75[108.53^\circ A]$$

Se selecciona el calibre 8 AWG con una capacidad de 40 [A]. Pudiera pensar que se puede



elegir un calibre menor, sin embargo en circuitos derivados 1 el calibre 8 AWG es el mayor de los circuitos nombrados HILERAS. Por lo tanto no puede elegirse uno menor.

Factores de Corrección

Los factores de corrección a aplicar son los mismos:

$$FT=1.04 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 14 AWG= 15[A]

$$15[A] * 1.04 * 1 = 15.6 [A]$$

Se selecciona el calibre 8 AWG, se comprueba por caída de tensión.

Caída de Tensión

La distancia del registro al estacionamiento grande es de 27 [m]. El factor de potencia del balastro es de 0.98 por lo que el $\cos\theta=.98$ mientras que $\sin\theta=.2$ y para un calibre de 8 AWG con capacidad de conducción de 40 [A]:

$$R=2.56 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L=.171 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{2 * 27[m] * 10.75[A] * 100((2.56[\Omega/\text{Km}] * .98) + (.171[\Omega/\text{Km}] * .2))}{220[V] * 1000} = 0.67\%$$

La caída de tensión es menor al 2%. El calibre a elegir es 8 AWG.

Pasillos y entradas entre edificios

Se toma como ejemplo "SECCION 4". Se anexará una tabla con las secciones restantes. Los luminarios son distribuidos como lo muestra la Tabla 26, el cálculo se realiza en dos partes, para diferenciar los luminarios alimentados por las fases B-C y fases A-C.

Zona	Potencia de Línea [W]	Cantidad	CARGA EN DOS FASES [W]	
			B-C	A-C
PASILLOS	80	3	240	0
	47	4	0	188
	80	1	0	80
TOTAL [W]			240	268

Tabla 6.16. Carga en SECCION 4 en las fases correspondientes.

Fases B-C

Luminarios de 80[W]

En las fases B-C se instalan 3 luminarios de 80 [W]. La corriente para un luminario es:

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220[120^\circ[V]]}{578.95[18.2^\circ[\Omega]]} = 0.38 [101.8^\circ[A]]$$

Para 3 luminarios de 80 [W]:

$$I_{BC)seccion4} = 3 * 0.38 [101.8^\circ[A]]$$

$$I_{BC)seccion4} = \boxed{1.14[101.8^\circ[A]]}$$



Fases A-C

Luminarios 47 [W]

La corriente en un luminario de 47 [W] a una tensión de 220 [240° [V] entre fases A-C es:

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_{AC}} = \frac{220[240^\circ[V]}{1000[11.47^\circ [\Omega]} = 0.22 [228.53[A]$$

Para 4 luminarios de 47 [W]:

$$I_{4*47W} = 4 * 0.22 [228.53^\circ[A]$$

$$I_{4*47W} = \boxed{.88 [228.53^\circ[A]}$$

Luminarios 80 [W]

La corriente para un luminario de 80 [W] a una tensión de 220[240°[V] entre fases A-C es:

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_{AC}} = \frac{220[240^\circ[V]}{578.95[18.2^\circ [\Omega]} = 0.38[221.8[A]$$

La corriente total en las fases A-C es la suma fasorial de las corrientes obtenidas para los luminarios de 47 y 80 [W], entonces:

$$I_{seccion4 \phi AC} = I_{1*47W} + I_{1*80W} = 0.88 [228.53^\circ + 0.38 [221.8^\circ[A]$$

$$I_{seccion4 \phi AC} = \boxed{1.26[226.52^\circ [A]}$$

Se selecciona el calibre 14 AWG con una capacidad de 15 [A]. Ya que en circuitos derivados 1 el calibre 14 AWG es el mayor del circuito SECCION 4. Por lo tanto no puede elegirse uno menor.

Factores de Corrección

Los factores de corrección a aplicar son los mismos:
 FT=1.04 FA=1

Capacidad de conducción calibre 14 AWG = 15[A]

$$15[A]*1.04*1=15.6 [A]$$

Se selecciona el calibre 14 AWG, se comprueba por caída de tensión.

Caída de Tensión

La longitud del alimentador para "SECCION 4" es de 1 [m]. Se toma el factor de potencia de 0.95 por lo que el $\cos\theta=0.95$ mientras que $\sin\theta=0.31$ y un calibre 14 AWG:

$$R=10.2 [\Omega/Km] \quad X_L = .19 [\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{2 * 1[m] * 1.26[A] * 100((10.2[\Omega/Km] * .95) + (.19[\Omega/Km] * .31))}{220[V] * 1000} = 0.01\%$$

La caída de tensión es menor al 2%. El calibre a elegir es 14 AWG.



En la tabla 6.17 se resume el cálculo de los elementos eléctricos para circuitos alimentadores 2.

ALIMENTADORES 2							
Zona	EST. GRANDE	EST. CHICO	PASILLOS Y ENTRADAS				
			SECCION 1	SECCION 2	SECCION 3	SECCION 4	
	FASES A-B	FASES B-C	FASES A-C	FASES A-C	FASES A-C	FASES A-C	FASES B-C
Corriente(s) de luminario(s) [A]	0.43 [A]	0.43 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.22 [A] 0.38 [A]	0.38 [A]
Cantidad de Luminarios	27	25	7x0.22 [A] 4x0.38 [A]	9x0.22 [A] 2x0.38 [A]	14x0.22 [A] 5x0.38 [A]	4x0.22 [A] 1x0.38 [A]	3x0.38 [A]
Corriente por alimentador [A]	11.61[-11.47°]	10.75[108.53°]	3.06[225.2°]	2.74[226.6°]	4.98[225.9°]	1.26[226.5°]	1.14[101.8°]
Distancia [m]	109	27	22	61	60	1	1
Calibre Conductor (AWG)	4	8	10	10	10	14	14
Protección	15 [A]	15 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]	10 [A]
Calibre Tierra Física (AWG)	4	8	10	10	10	14	14
Total de hilos	3	3	3	3	3	3	3
Tubo PAD [mm]	27	21	16	16	16	16	16
Caída de Tensión [%]	1.19	0.67	0.23	0.57	0.68	0.01	0.01

Tabla 6.17. Elementos eléctricos de circuitos alimentadores 2.

La siguiente tabla es de gran utilidad, ya que se agrupan las cargas y corrientes de acuerdo a las fases que las alimentan para obtener finalmente las corrientes totales I_{AB} , I_{BC} , I_{AC} :

CORRIENTES EN FORMA FASORIAL DE CADA ZONA					
ZONA	EST. GRANDE	EST. CHICO	PASILLOS Y ENTRADAS		
FASES	A-B	B-C	B-C	A-C	A-C
Luminario	93 [W]	93 [W]	80 [W]	80 [W]	47 [W]
Tensión [V]	220 [0°]	220 [120°]	220 [120°]	220 [240°]	220 [240°]
Impedancia [Ω]	511.62 [11.47°]	511.62 [11.47°]	578.95 [18.2°]	578.95 [18.2°]	1000 [11.47°]
Corriente [A]	0.43 [-11.47°]	0.43 [108.53°]	0.38 [101.8°]	0.38 [221.8°]	0.22 [228.53°]
Cantidad de luminarios	27	25	3	12	34
Subtotal Corriente [A]	11.61[-11.47°]	10.75 [108.53°]	1.14 [101.8°]	4.56 [221.8°]	7.48 [228.53°]
CORRIENTE TOTAL [A]					
	11.61[-11.47°]	11.88[107.88°]		12 [225.98°]	

Tabla 6.18. Corrientes fasoriales de circuitos alimentadores 2.



La corriente total en las fases B-C es la suma fasorial de las corrientes de los luminarios de 93 [W] y 80 [W] entonces:

$$I_{BC} = 10.75 [108.53^\circ + 1.14 [101.8^\circ [A]$$

$$I_{BC} = [10.75 \cos(108.53^\circ) + j10.75 \operatorname{sen}(108.53^\circ)] + [1.14 \cos(101.8^\circ) + j1.14 \operatorname{sen}(101.8^\circ)] [A]$$

$$I_{BC} = (-3.416 + 10.193j) + (-0.233 + 1.116j) [A]$$

$$I_{BC} = -3.649 + 11.309j [A]$$

$$I_{BC} = \sqrt{(-3.649)^2 + (11.309)^2} \left[\tan^{-1} \frac{11.309}{-3.649} [A] \right]$$

Respetando el cuadrante II, entonces:

$$\tan^{-1} \frac{11.39}{-3.649} = -72.12^\circ; -72.12^\circ + 180^\circ = 107.88^\circ$$

$$I_{BC} = 11.88 [107.88^\circ [A]$$

La corriente total en las fases A-C es la suma fasorial de las corrientes de los luminarios de 80 [W] y 47 [W] entonces:

$$I_{AC} = 4.56 [221.8^\circ + 7.48 [228.53^\circ [A]$$

$$I_{AC} = [4.56 \cos(221.8^\circ) + j4.56 \operatorname{sen}(221.8^\circ)] + [7.48 \cos(228.53^\circ) + j7.48 \operatorname{sen}(228.53^\circ)] [A]$$

$$I_{AC} = (-3.399 - 3.039j) + (-4.953 - 5.605j) [A]$$

$$I_{AC} = -8.352 - 8.644j [A]$$

$$I_{AC} = \sqrt{(-8.352)^2 + (-8.644)^2} \left[\tan^{-1} \frac{-8.644}{-8.352} [A] \right]$$

Respetando el cuadrante III, entonces:

$$\tan^{-1} \frac{-8.644}{-8.352} = 45.98^\circ; 45.98^\circ + 180^\circ = 225.98^\circ$$

$$I_{AC} = 12 [225.98^\circ [A]$$

Selección de Elementos Eléctricos Circuito Alimentador Principal de Alumbrado

▪ Determinación de Corrientes

El alimentador principal del sistema de alumbrado parte de una caja de conexiones a un registro, punto donde es distribuida la energía eléctrica para cada zona de alumbrado.

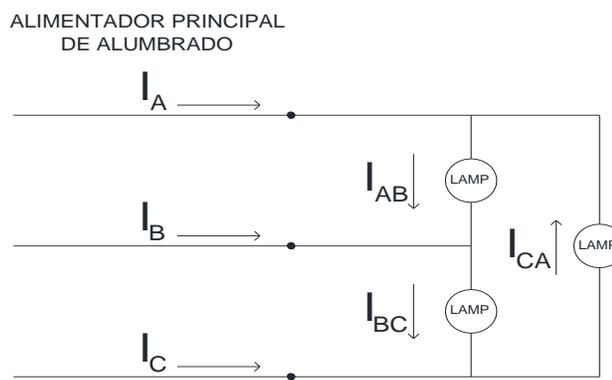


Imagen 6.10. Corrientes del circuito alimentador principal.



El alimentador principal se compone de tres conductores (uno por cada fase) y debe ser calculada la corriente que circula por cada conductor. La Imagen 24 muestra las corrientes que componen al circuito.

Aplicando la Ley de Nodos de Kirchhoff:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

Las corrientes I_{AB} , I_{BC} y I_{AC}

ZONA	CORRIENTE FASORIAL POR ZONA A DOS FASES EN [A]		
	I_{AB}	I_{BC}	I_{AC}
EST. GRANDE	11.61 [-11.47°]	0	0
EST. CHICO	0	10.75 [108.53°]	0
PASILLOS	0	1.14 [101.8°]	4.56 [221.8°]
	0	0	7.48 [228.53°]
TOTAL	11.61 [-11.47°]	11.88 [107.88°]	12 [225.98°]
	11.38 - 2.31j	-3.65 + 11.31j	-8.34 - 8.63j

Tabla 6.19. Corrientes fasoriales de circuitos alimentadores 2.

La corriente I_A se obtiene de la siguiente manera:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC} = 11.61[348.93^\circ][A] - 12[225.98^\circ][A]$$

$$I_A = [11.61\cos(348.93^\circ) + j11.61\sin(348.93^\circ)] - [12\cos(225.98^\circ) + j12\sin(225.98^\circ)][A]$$

$$I_A = (11.38 - 2.31j) - (-8.34 - 8.63j)[A]$$

$$I_A = 19.72 + 6.32j [A]$$

$$I_A = \sqrt{(19.72)^2 + (6.32)^2} \left[\tan^{-1} \frac{6.32}{19.72} \right] [A]$$

El ángulo se conserva ya que es positivo y se mantiene el cuadrante I, entonces:

$$I_A = 20.71[17.77^\circ][A]$$

La corriente I_B :

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} = 11.88[107.88^\circ][A] - 11.61[348.93^\circ][A]$$

$$I_B = (-3.65 + 11.31j) - (11.38 - 2.31j)[A]$$

$$I_B = -15.03 + 13.62j [A]$$

$$I_B = \sqrt{(-15.03)^2 + (13.62)^2} \left[\tan^{-1} \frac{13.62}{-15.03} \right] [A]$$

Respetando el cuadrante II se tiene:

$$\tan^{-1} \frac{13.62}{-15.03} = -42.18^\circ; -42.18^\circ + 180^\circ = 137.82^\circ$$



$$I_B = 20.28[137.82^\circ [A]$$

La corriente I_C :

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} = 12[225.98^\circ[A] - 11.88[107.88^\circ[A]$$

$$I_C = (-8.34 - 8.63j) - (-3.65 + 11.31j)[A]$$

$$I_C = -4.69 - 19.94j [A]$$

$$I_C = \sqrt{(-4.69)^2 + (-19.94)^2} \left[\tan^{-1} \frac{-19.94}{-4.69} \right] [A]$$

Respetando el cuadrante III, se tiene:

$$\tan^{-1} \frac{-19.94}{-4.69} = 76.76^\circ; 76.76^\circ + 180^\circ = 256.76^\circ$$

$$I_C = 20.48[256.76 [A]$$

Las corrientes son:

$$I_A = 20.71[17.77^\circ [A]$$

$$I_B = 20.28[137.82^\circ [A]$$

$$I_C = 20.48[256.76 [A]$$

▪ Selección del Calibre del Conductor

Se considera únicamente la magnitud de la corriente mayor, es decir 20.71 [A].

Recordando además que es una carga continua ya que el sistema de alumbrado opera por más de tres horas, por lo tanto la corriente corregida es:

$$I_{\text{corregida}} = 1.25 * 20.71$$

$$I_{\text{corregida}} = 25.88 [A]$$

Sin embargo, de acuerdo a los calibres seleccionados en alimentadores 2, el calibre mayor es 4 AWG (RHW-2 LS) con capacidad de conducción de 70[A], por lo tanto es el que se elige.

Factores de Corrección

Se consideran tres conductores para las fases A, B y C.

$$FT=1.04 \quad FA=1$$

Capacidad de conducción calibre 12 AWG= 20[A]

$$20[A]*1.04*1=20.8 [A]$$

Se selecciona el calibre 4 AWG, se comprueba por caída de tensión.

Caída de Tensión

En circuitos alimentadores no habrá una caída de tensión menor al 2%. Sin embargo de acuerdo a la tabla 6.17, en alimentadores 2, la mayor caída de tensión está en estacionamiento grande con 1.19 %. Entonces se resta:

$$e\%_{A.Principal} = 2\% - 1.19\% = 0.81\%$$

Por lo tanto, en alimentador principal se deberá tener una caída menor al 0.81%.



La longitud del alimentador principal es de 24 [m]. El calibre a considerar es 4 AWG / 70 [A]. Además se toma el factor de potencia de 0.95 por lo que el $\cos\theta=0.95$ mientras que $\sin\theta=0.31$:

$$R=1.02 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L =.157 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 24[m] * 20.71[A] * 100((1.02\Omega/\text{Km}] * .95) + (.157\Omega/\text{Km}] * .31))}{220[V] * 1000} = 0.39\%$$

La caída de tensión es menor a 0.81%. Se selecciona calibre 4 AWG.

▪ **Protección contra Sobre Carga**

En alimentador principal se utiliza calibre 4 AWG con capacidad de conducción de 70 [A]:

$$0.8 * 70 [A] = 56 [A]$$

Pudiera elegirse un interruptor termomagnético de 60 [A], sin embargo la corriente que circula por el conductor es de 20.71 [A], así que se selecciona un interruptor termomagnético de tres polos de 30 [A].

▪ **Tamaño Nominal del conductor de Puesta a Tierra**

De la tabla 250-122 de la NOM-001-SEDE-2012 y de acuerdo a la protección de sobre carga se selecciona el conductor de puesta a tierra. Se elige calibre 12 AWG. Pero se compensaron cuatro calibres en caída de tensión, mismo número de calibres son compensados para determinar el calibre de conductor de tierra física.

Por lo tanto el calibre de conductor de puesta a tierra es 4 AWG.

▪ **Canalización**

Circuito	N° Conductores	Fases(F) o Tierras Físicas(TF)	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Área del Conductor mm ²	Subtotal mm ²
Alimentador Principal	3	F-F-F	RHW-2 LS	4	62.77	188.31
	1	TF	Desnudo	4	2.08	21.2
					Σ total [mm ²]	209.51

Tabla 6.20. Área de los conductores en alimentador principal.

De acuerdo al Tabla 4, Artículo 352 y 353 “Tubo conduit HDPE” de la NOM-001-SEDE-2012, se selecciona una tubería de 27 mm (1”) ya que tiene un área disponible de 214 mm² para alojar más de 2 conductores.

Diagrama unifilar del sistema de alumbrado de la unidad habitacional

A manera de resumen se genera un diagrama de todo el sistema de alumbrado, en él se incluye información de calibres y protecciones que hay en cada circuito que compone dicho sistema.

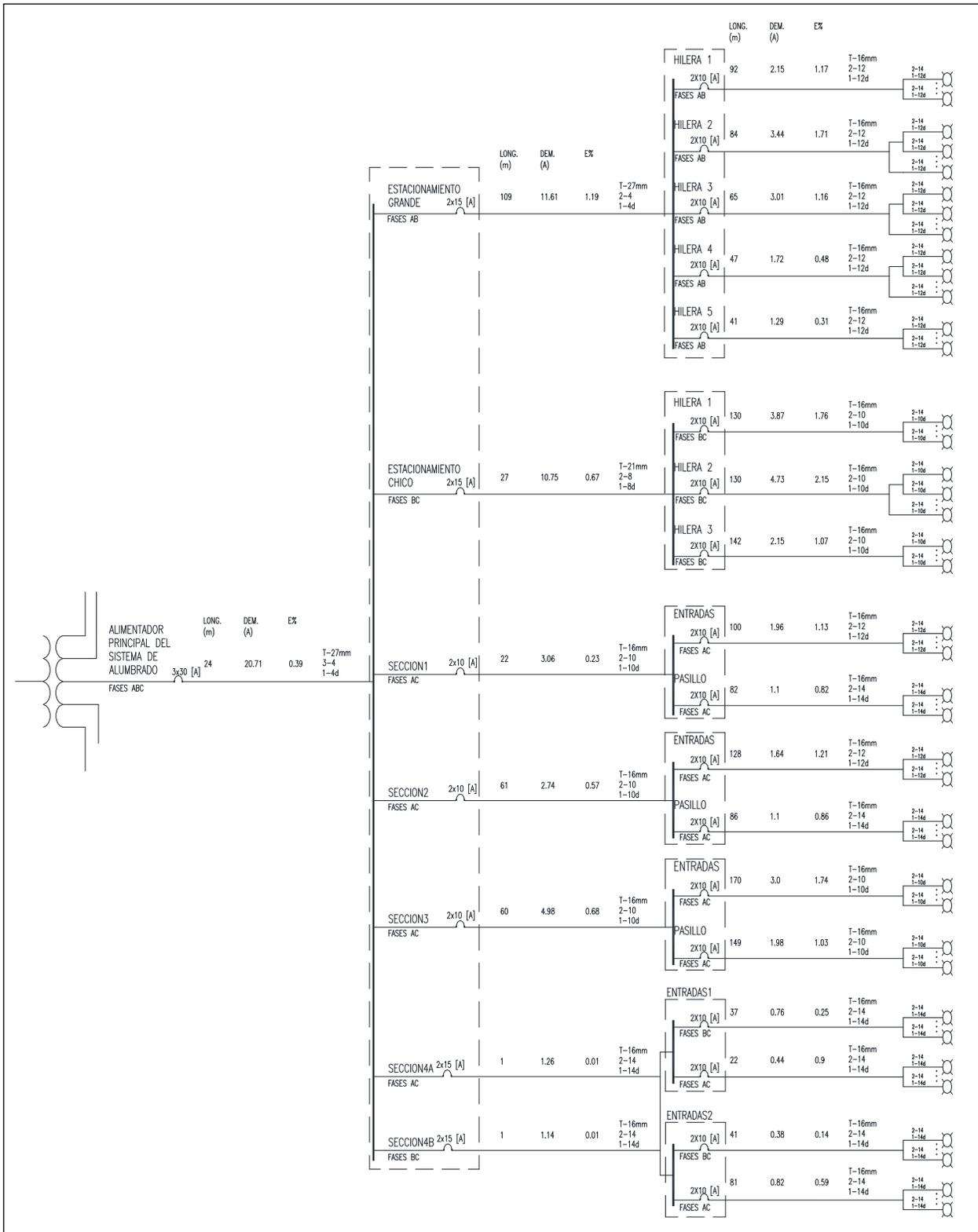


Imagen 6.11. Diagrama unifilar del sistema de alumbrado de la unidad habitacional.



A continuación en la Imagen 6.12 se observa la distribución radial paralelo en baja tensión de las fuentes hacia las respectivas cargas, que en este caso son los edificios y la iluminación.

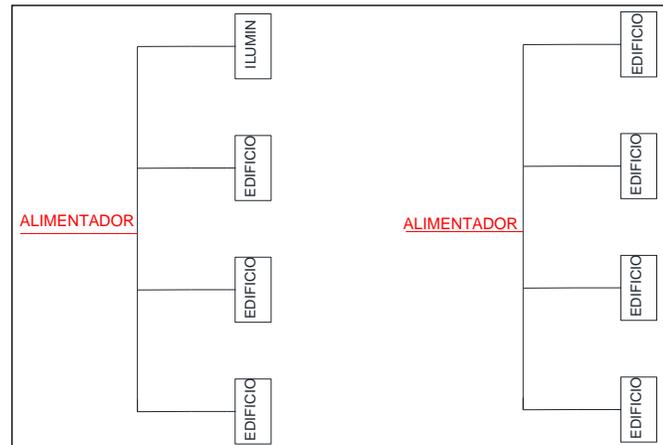


Imagen 6.12. Distribución Subterránea Baja Tensión Radial Paralelo.

Caja de conexiones

Recordando que el transformador tiene solo un circuito de salida en B.T. es necesaria la caja de conexiones. Es utilizada para para hacer derivaciones en los alimentadores subterráneos.

Por lo que se elige una caja de cuatro vías (una de entrada y cuatro salidas para cada edificio).

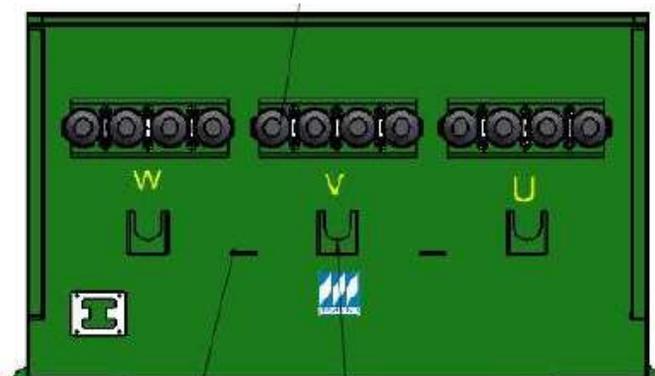


Imagen 6.13. Caja de conexiones de cuatro vías

6.1.3 Selección de elementos eléctricos circuito alimentador para cuatro edificios.

Al seleccionar un transformador o alimentador para un consumidor debe tomarse en cuenta su demanda máxima, debido a que esta impondrá las condiciones más severas de la carga, sin embargo cuando más de un consumidor es alimentado se debe tomar en cuenta el concepto de diversidad (Capítulo 2), aun cuando sean del mismo tipo las cargas (residencial, industrial o comercial), sus hábitos y costumbre impedirán que sus demandas máximas coincidan en el tiempo.

La demanda máxima de un conjunto de consumidores no es igual a la suma de las demanda máximas individuales. En todo el sistema existe diversidad entre los consumidores, lo que hace que por regla general la demanda máxima de un conjunto de carga sea menor que la suma de las demandas máximas individuales.

Para la diversidad entre los edificios se aplica la siguiente ecuación:



$$F_{div} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{maxi}}{D_{maxedificios}}$$

Se despeja para obtener la demanda máxima.

$$D_{maxedificios} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{maxi}}{F_{div}}$$

Cada edificio tiene una demanda máxima de 49 178 [W] y el factor de diversidad (tabla 6.21) para 4 usuarios (edificios) y considerando un estrato socioeconómico Medio Urbano es 2.15, por lo tanto:

$$D_{max_{4edif}} = \frac{4 \times 49\,178 [W]}{2.15} = 91\,493.95 [W]$$

▪ **Corriente demandada por cuatro edificios**

$$I_{4edif} = \frac{91\,493.95 [W]}{\sqrt{3} * 220 [V] * 0.9} = \boxed{266.79 [A]}$$

Número de Usuarios	Bajo-Bajo			
	Bajo	Medio-Bajo	Medio	Medio-Alto
1	1	1	1	1
2	1.53	1.55	1.75	1.85
3	1.86	1.91	2.34	2,58
4	2.09	2.15	2.81	3.22
5	2.25	2.33	3.19	3.77
6	2.37	2.46	3.51	4.27
7	2.47	2.57	3.78	4.71
8	2.55	2.66	4.02	5.10
9	2.61	2.73	4.22	5.45
10	2.66	2.79	4.40	5.78
15	2.84	2.99	5.03	7.02
20	2.94	3.10	5.42	7.86
21	2.95	3.11	5.48	8
22	2.96	3.13	5.54	8.13
30	3.04	3.22	5.87	8.94
40	3.09	3.28	6.13	9.59
50	3.13	3.32	6.30	10.03
kVA-MIN	1.80	2.30	4.95	11.45
CONSTANTE	0.5506	0.6606	0.7010	0.9307

Tabla 6.21. Factores de diversidad por cada estrato socioeconómico.



El conductor a utilizar es el RHW-2 LS, además la corriente es mayor a 100 [A] así que de la tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012 se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C.

El calibre calibre 300 kcmill es seleccionado, tiene una capacidad de conducción de 285 [A].

Factores de Corrección

La corriente demandada por cuatro edificios puede ser conducida con en calibre 300 kcmill y considerando una temperatura de operación del conductor de 75°C y tres conductores:

$$FT= 1.05 \quad FA=.8$$

Aplicando factores de corrección, capacidad de conducción calibre 300 kcmill=285 [A]

$$285 [A]*1.05*.8=239 [A]$$

Es necesario un calibre mayor, el 400 kcmill tiene capacidad de conducción 335 [A]

$$335 [A]*1.05*.8=281.4 [A]$$

El calibre 400 kcmill se selecciona para conducir la corriente de los cuatro edificios 266.79 [A].

Caída de Tensión

El porcentaje de caída de tensión hasta este punto es de 4.58% está casi al límite del 5%. Se considera una distancia de 5 m.

La ecuación para calcular la caída de tensión en un sistema Trifásico es la siguiente:

$$e\% = \frac{\sqrt{3}LI100(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff} * 1000}$$

Para un conductor calibre 400 kcmill:

$$R=0.108 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L=0.131 [\Omega/\text{Km}]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 266.79[A] * 5[m] * 100((.108[\Omega/\text{Km}] * .9) + (.131[\Omega/\text{Km}] * .43))}{220[V] * 1000} = 0.16\%$$

Se comprueba que se cumpla con una caída de tensión total menor al 5%; es decir, de la suma que se realizó con las caídas de tensión en circuitos derivados más la caída de tensión en el alimentador a cuatro edificios debe ser menor al 5%.

Entonces para circuitos derivados se tiene:

$$e\%_{\text{derivado principal}} + e\%_{\text{derivado 1}} + e\%_{\text{derivado 2}} \\ 1.41\% + 1.63\% + 1.54\% = 4.58\%$$

Sumando $e\%$ derivados más alimentador de cuatro edificios se tiene:

$$4.58\% + .16\%=4.74 \%$$

Se cumple con la Norma de CFE, y el calibre seleccionado es el 400 kcmill.



▪ **Canalizaciones**

La siguiente tabla indica el área total ocupada por los cuatro conductores 400 kcmill.

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro)	Conductor	Calibre kcmill	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Cond. [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Alim. Cuatro Edificios	4	F y N	RHW-2 LS	400	335	281.4	266.79	556.5	2226
Σ total									2226

Tabla 6.22. Área de conductores dentro del ducto PAD.

Revisando la Tabla 6.2, seleccionamos una canalización ducto PAD de 100 mm que tiene un área disponible de 3 141[mm²].

6.1.4 Selección de elementos eléctricos circuito alimentador para tres edificios e iluminación en estacionamientos y pasillos exteriores

Para tres edificios de acuerdo de la tabla 6.21se tiene un factor de diversidad de 1.91:

$$Dmax_{3edif} = \frac{3 \times 49\,178 [W]}{1.91} = 77\,242.93 [W]$$

Posteriormente se le suma la demanda de la iluminación exterior.

$$Dmax_{3edif+Illum} = 77\,242.93 [W] + 7\,634 [W] = 84\,881.93 [W]$$

▪ **Corriente demandada por tres edificios más la iluminación exterior**

$$I_{3edif+Illum} = \frac{84,881.93[W]}{\sqrt{3} * 220 * 0.9} = \boxed{247.5 [A]}$$

Factores de Corrección

Los factores de corrección continúan siendo los mismos por lo que podemos revisar que el conductor calibre 400 kcmill aplicando factores de corrección es capaz de conducir 281.4 [A], de esta manera consideramos este calibre.

Caída de Tensión

Es el mismo caso que para el alimentador para cuatro edificios, el porcentaje de caída de tensión es de 4.58% y debemos de tener una caída no mayor al 5%. Con una distancia de 5 [m].

Para un conductor calibre 400 kcmill:

$$R=0.108 [\Omega/Km] \quad X_L =.131 [\Omega/Km]$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 247.5[A] * 5[m] * 100((.108[\Omega/Km] * .9) + (.131[\Omega/Km] * .43))}{220[V] * 1000} = 0.14\%$$

Sumando las caídas de tensión de los derivados más el alimentador para tres edificios e iluminación se tiene:



$$4.58\% + .14\% = 4.72\%$$

La caída es menor al 5%, por lo tanto el calibre 400 kcmil es seleccionado.

▪ Canalizaciones

La siguiente tabla indica el área total ocupada por los cuatro conductores 400 kcmil.

Circuito	N° Conductores	Uso (F fase, N neutro)	Conductor	Calibre kcmil	Capacidad de conducción [A]		Carga a través del conductor [A]	Sección de Cond. [mm ²]	Subtotal [mm ²]
					Nominal	Con Factores de corrección			
Alim. Tres Edificios e Ilum.	4	F y N	RHW-2 LS	400	335	281.4	247.5	556.5	2226
Σ total									2226

Tabla 6.23. Área de Conductores dentro del ducto PAD.

Revisando la tabla 6.2, se elige una canalización ducto PAD de 100 [mm] con área disponible de 3 141[mm²].

6.2 Transformadores

Las Normas de CFE de Distribución nos otorgan la siguiente información:

Para desarrollos habitacionales de muy alto nivel, comerciales e industriales: capacidad de acuerdo al diseño del proyecto sujetándose a sistemas trifásicos de 75, 112.5, 150, 225, 300 y 500 kVA recomendándose la utilización de capacidades que optimicen el proyecto.

Se instalan preferentemente del tipo pedestal, dejando el tipo sumergible para los casos en que por razones de espacio, estética, etc. sea más recomendable su uso.

Se utilizan en los siguientes casos:

- Formando parte integral de un anillo trifásico.
- Formando parte integral de un ramal radial trifásico.
- Para servicio particular, conectados en forma radial a un anillo trifásico.



Imagen 6.14. Transformador tipo Pedestal de 112.5 [kVA].



6.2.1 Selección de transformadores

La demanda de la Unidad Habitacional será alimentada con **cuatro** transformadores tipo pedestal, para los 15 edificios e iluminación:

- **tres** transformadores, cada uno alimenta a cuatro edificios.
- **un** transformador alimenta a tres de edificiose iluminación exterior.



Imagen 6.15. Alimentación a edificios e iluminación exterior.

Las siguientes demandas están en relación a los factores de diversidad, es necesario pasar la demanda de watts a VA.

$$D_{max_{4edif}} = \frac{91\,493.95 [W]}{0.9} = 101,659.95 [VA] = 101.66 [kVA]$$

$$D_{max_{3edif+lluext}} = \frac{84,881.93 [W]}{0.9} = 94,313 [VA] = 94.31 [kVA]$$

Existe una infinidad de posibilidades de la capacidad y el número de transformadores que se podrían colocar en el arreglo en anillo, esto depende mucho del criterio del diseñador. En este caso es un arreglo en anillo abierto con cuatro transformadores de 112.5 kVA.

El factor de utilización para los transformadores será:

$$Fu_{trans\ 4edif} = \frac{101.66 [kVA]}{112.5 [kVA]} \times 100 = 90.36 \%$$

$$Fu_{trans\ 3edif+ilum} = \frac{94.31 [kVA]}{112.5 [kVA]} \times 100 = 83.83 \%$$

De acuerdo a la norma de CFE para la “Construcción de Sistemas Subterráneos” en su apartado de Recomendaciones Generales: *El factor de utilización para transformadores en sistemas subterráneos será lo más cercano a la unidad.* Por lo que la selección de transformadores se ha hecho de manera adecuada para el presente proyecto.

6.3 Instalación Subterránea Media Tensión

Al igual que en la instalación subterránea en baja tensión se seleccionarán los elementos eléctricos que componen la instalación en media tensión. Es necesario mencionar el primer elemento; las protecciones del lado primario del transformador. Posteriormente se mencionará el sistema de distribución y a continuación la selección de conductores.

Los transformadores deben tener por fase dos fusibles conectados en serie y debidamente coordinados entre sí, ambos fusibles deben estar sumergidos en líquido aislante en el interior del tanque.



▪ Protección contra sobre corriente del lado primario de los transformadores

El sistema de protección en media tensión del transformador pedestal, está conformado por un fusible de expulsión tipo bayoneta “FE” en serie con un fusible limitador de corriente “FLC”.

- El fusible de expulsión “FE” opera únicamente cuando ocurra una falla de baja corriente interna en el transformador.

Para nuestro presente proyecto, en base a la tabla de la norma de CFE K0000-08 y a las características de nuestro transformador a utilizar seleccionamos el fusible de expulsión FE de 15 [KV] con una capacidad interrumpida de 1800 [A] asimétricos.



Imagen 6.16. Alimentación a edificios e iluminación exterior

- El fusible limitador “FLC” debe interrumpir altas corrientes.

La capacidad de cada transformador es de 112.5 [kVA] y se considera un factor de utilización unitario, por lo que la protección fusible se calcula en base al 100% de la capacidad del transformador. Se determina la corriente (recordando que del lado primario se tienen 23 000 [V]):

$$I_{transf} = \frac{112.5 [kVA]}{\sqrt{3} * 23 [kV]} = 2.82 [A]$$

La corriente anterior es igual al valor del fusible tipo bayoneta que ya está integrado en el transformador tipo pedestal, dado que el valor obtenido no es un valor comercial se procede a seleccionar el fusible inmediato superior, en este caso de 3[A].

La siguiente tabla indica el Fusible a seleccionar en base a la Capacidad y tipo de transformador (Trifásico)



TRANSFORMADORES TRIFASICOS

CAP. DEL TRANSF. (KVA)	VOLTAJE PRIMARIO					
	13200		23000		33000	
	I	F	I	F	I	F
15	0.66	0.75	0.38	0.5	0.26	0.5
30	1.31	2	0.75	0.75	0.52	0.5
45	1.97	2	1.13	1	0.79	0.75
75	3.28	3	1.88	2	1.31	1
112.5	4.92	5	2.82	3	1.97	2
150	6.56	6	3.77	4	2.62	3

Tabla 6.24. Selección de Fusibles para transformadores Trifásicos.

Para nuestro presente proyecto, en base a la tabla de la norma de CFE K0000-08 y a las características de nuestro transformador a utilizar seleccionamos el fusible de limitador de corriente FLC de 15 [KV] con una capacidad interrumpida de 25000 [A] asimétricos.

Las características que deben cumplir los fusibles son:

Tensión Nominal		Tensión de aguante al impulso por rayo normalizado 1.2 x 50 Ms (kV) cresta	Corriente de interrupción asimétrica eficaz (A)
Transformador (kV eficaz)	Fusible (kV eficaz)		
13.2/7.62	8.3	95	3000
22.86/13.2	15	125	1800
33/19	23	150	600

Tabla 6.24. Características del fusible de expulsión

Tensión Nominal		Tensión de aguante al impulso por rayo normalizado 1.2 x 50 Ms (kV) cresta	Corriente de interrupción asimétrica eficaz (A)
Transformador (kV eficaz)	Fusible (kV eficaz)		
13.2/7.62	8.3	95	25000
22.86/13.2	15	125	25000
33/19	23	150	50000

Tabla 6.25. Características del fusible limitador de corriente



6.3.1 Arreglo del Sistema de Distribución en Media Tensión.

El Capítulo 3 tuvo como objetivo dar a conocer las estructuras en media y baja tensión para el sistema de distribución, es momento de seleccionar una de éstas; el Sistema en Anillo Abierto será el arreglo en media tensión que se empleara para la alimentación de la unidad habitacional. La finalidad de este tipo de arreglo es garantizar la continuidad en caso de que exista un tramo dañado en los alimentadores. La instalación se hará en forma subterránea por lo que las normas de CFE serán de suma importancia.

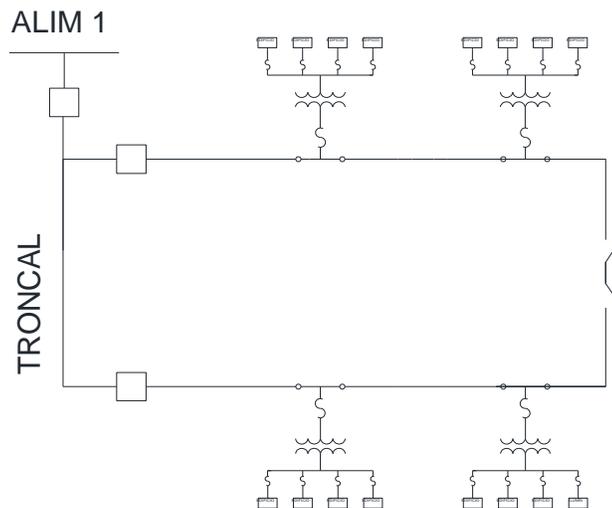


Imagen 6.16. Alimentación a edificios e iluminación exterior

6.3.2 Selección de Elementos Eléctricos Circuito Troncal Media Tensión

El circuito troncal como se observa en la imagen 7, tiene la capacidad de soportar la demanda máxima total de la Unidad Habitacional, es decir de los cuatro transformadores.

Los conductores subterráneos en media tensión, de acuerdo a CFE, a utilizar son de aluminio con aislamiento XLP (aislamiento de polietileno de cadena cruzada) con temperatura normal de operación a 90°C.

El polietileno reticulado XLP tiene como característica que al someterse a cambio de temperatura no modifica sus propiedades mecánicas.

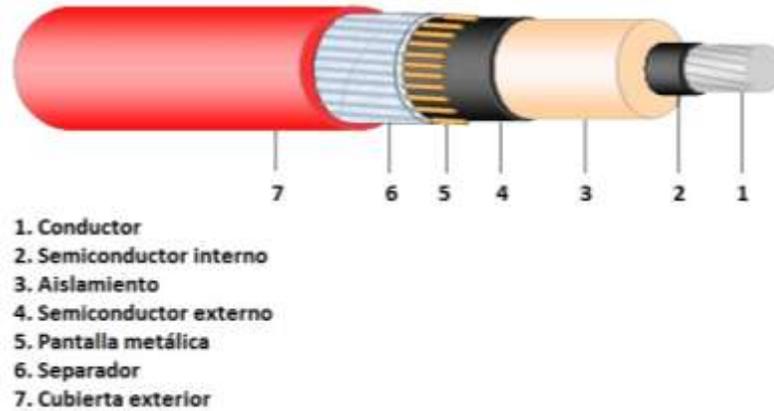


Imagen 6.17. Estructura del conductor con aislamiento XLP.

▪ **Selección del Calibre del Conductor del Troncal**

La capacidad del conductor troncal debe ser lo suficientemente grande para alimentar la carga total. Se consideran al 100 % las capacidades de los transformadores, por tanto para los cuatro transformadores en configuración anillo:

$$Capacidad\ total\ de\ transformadores = 4 \times 112.5 [kVA] = 450 [kVA]$$

Sin embargo la demanda máxima del sistema es la que impone las condiciones para el cálculo de conductores, así que se debe calcular antes la demanda máxima de toda la Unidad Habitacional con respecto a los transformadores ya elegidos. A continuación se muestra una tabla con factores de diversidad y coincidencia entre distintos equipos:

FACTORES DE DIVERSIDAD/COINCIDENCIA		
EQUIPO/SISTEMA	Fd	Fco
ENTRE TRANSFORMADORES	1.2 - 1.35	0.74 - 0.83
ENTRE ALIM. PRIMARIOS	1.08 - 1.2	0.83 - 0.92
ENTRE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN	1.05 - 1.25	0.80 - 0.95

Tabla 6.26. Factores entre distintos equipos.

Utilizando un factor de coincidencia de 0.83 entre transformadores, será aplicado a la capacidad total de los mismos:

$$D_{m\acute{a}x\ Unidad\ Hab} = 450 [kVA] \times 0.83 = 373.5 [kVA]$$

Por lo tanto:

$$I_{nom} = \frac{373.5 [kVA]}{\sqrt{3} * 23 [kV]} = \boxed{9.38 [A]}$$

En la tabla 6.27 (310-60(c)(78) de la NOM-001) se pudiera elegir un calibre 6 AWG. Sin embargo, de acuerdo a la Norma de CFE de Distribución Construcción de Sistemas Subterráneos, indica que para sistemas que no rebasen los 200 A, la sección transversal del cable debe determinarse de acuerdo al diseño del proyecto, el calibre **mínimo** debe ser 1/0 AWG y cumplir con la norma NRF-024-CFE. Por lo que para el troncal se elige calibre 1/0 AWG que tiene capacidad de 155 A.



		Temperatura nominal del conductor			
		[Véase tabla 310,104(c)]			
Área en mm ²	Tamaño o designación del conductor (AWG o Kcmil)	Ampacidad para 2001 - 5000 [V]		Ampacidad para 5001 - 35000 [V]	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
		Tipo	Tipo	Tipo	Tipo
		MV-90	MV-105	MV-90	MV-105
Un circuito (Véase la Figura 310-60, Detalle 1)					
13.3	6	66	71	70	75
21.2	4	86	93	91	98
33.6	2	115	125	120	130
42.4	1	130	140	135	145
53.5	1/0	150	160	155	165
67.4	2/0	170	185	175	190
85	3/0	195	210	200	215
107	4/0	225	245	230	245

Tabla 6.27. Capacidad de conducción de corriente para conductor de aluminio en MT

También en dicha norma de CFE; cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar los fraccionamientos subterráneos sean 3f-3h. Se optará por la siguiente alternativa:

- b) Se diseñará la puesta a tierra del sistema según se indique en el punto 2.2.4 de la Norma de CFE de Distribución Construcción de Sistemas Subterráneos (PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS FLOTANTES).

Factor de corrección

De acuerdo con la norma NOM-001 en la sección 310-60 b) "Capacidad de conducción de corriente para conductores de 2 001 V a 35 000 V". Se permite determinar la capacidad de conducción de corriente para conductores con aislamiento sólido por medio de las tablas o bajo supervisión de ingeniería, de acuerdo con lo indicado en 310-60 (c) y (d).

Además en la misma sección "(2) Profundidad bajo tierra de los circuitos subterráneos". b) Si la profundidad es mayor que la de una tabla o figura se debe aplicar un factor de corrección de 6% por cada 0,30 m de aumento de profundidad.



Imagen 6.18. Dimensiones de instalación de cables



El presente proyecto no propone una profundidad distinta y por lo tanto no aplica ningún factor de corrección, así mismo se determina la capacidad de conducción de corriente por medio de tablas.

▪ **Caída de Tensión**

La distancia total del circuito del troncal del sistema en anillo en M.T. es de 250 m.

Para el cálculo de la caída de tensión se toman en cuenta nuevos valores de resistencia y reactancia ya que la Norma de CFE de Distribución Construcción de Sistemas Subterráneos en la sección 2.6.4 Caída de Tensión y Pérdidas; inciso **A) Los circuitos de media tensión subterráneos con longitudes menores de 15 km, se consideran como líneas de transmisión cortas**, utilizando para los cálculos de caída de tensión un circuito equivalente de resistencia y reactancia inductiva en serie, despreciándose la reactancia capacitiva.

De la tabla 6.28 para un calibre 1/0 AWG:

$$R=0.691 [\Omega/\text{Km}] \quad X_L = .3263 [\Omega/\text{Km}]$$

Y sustituyendo valores:

$$e\% = \frac{\sqrt{3}IL(R \cos \theta + X_L \text{Sen}\theta)}{V_{ff}} \times 100$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} * 250[m] * 9.38[A] * 100((0.691[\Omega/\text{Km}] * 0.9) + (0.3263[\Omega/\text{Km}] * 0.43))}{23000[V] * 1000} = 0.0135\%$$

La caída de tensión es menor al 1 % establecido por la norma de CFE para circuitos en MT. Por lo tanto el calibre 1/0 AWG con aislamiento XLP es seleccionado.

Resistencia y Reactancia Inductiva para cables DS. Cables con conductor de Aluminio				
Sección Transversal [mm ²]	Resistencia 90° en C.A. [Ω/km]	Reactancia Inductiva en [Ω/km]		
		15000 [V]	25000 [V]	35000 [V]
33.6 (2 AWG)	1.100	0.347	-	0.3262
53.5 (1/0 AWG)	0.691	0.3267	0.3263	0.3176
67.5 (2/0 AWG)	0.548	0.3181	0.3178	0.3090
85 (3/0 AWG)	0.434	0.3095	0.3093	0.3

Tabla 6.28. Resistencias y reactancias para cables XLP, con conductor de aluminio.

▪ **Canalizaciones**

Al igual que en baja tensión la canalización a utilizar es PADC o PAD, y se respetaran los factores de agrupamiento que se han utilizado. Habrá tres conductores 1/0 AWG alojados en el ducto.



Circuito	N° Conductores	Uso	Tipo de aislamiento	Calibre AWG	Sección de Conductor mm ²	Total mm ²
Sistema Anillo	3	F-F-F	XLPE	1/0	795	2 385

Tabla 6.29. Área de Conductores dentro del ducto PAD para el sistema anillo

El área total de los tres conductores 1/0 AWG es de 2 385 mm². El factor de relleno para este caso es del 40%; revisando la tabla 6.2 se elige un ducto PAD de 100 mm, cuya área disponible es de 3 141 mm².

▪ **Seccionadores.**

Es un interruptor de dos posiciones que permite aislar eléctricamente una instalación o circuito eléctrico de la red de alimentación eléctrica, dejando dicha instalación o circuito sin carga o en vacío.

El seccionador, no interrumpe la corriente de falla, la aplicación básica del seccionador requiere que reúnan las siguientes cuatro condiciones generales.

- 1.- Los seccionadores deben usarse en serie con un restaurador automático en su lado de carga.
- 2.- El restaurador de respaldo debe ser capaz de percibir una falla mínima en cualquier parte de la zona de protección del seccionador.
- 3.- La corriente mínima de falla en la zona de protección debe exceder la corriente de actuación mínima del seccionador 160%.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de la función del seccionador coordinado con un Restaurador en el cual ocurre una falla y actúa el seccionador detectando una corriente de falla y opera aislando la falla para que no quede afectada la alimentación de los otros edificios.

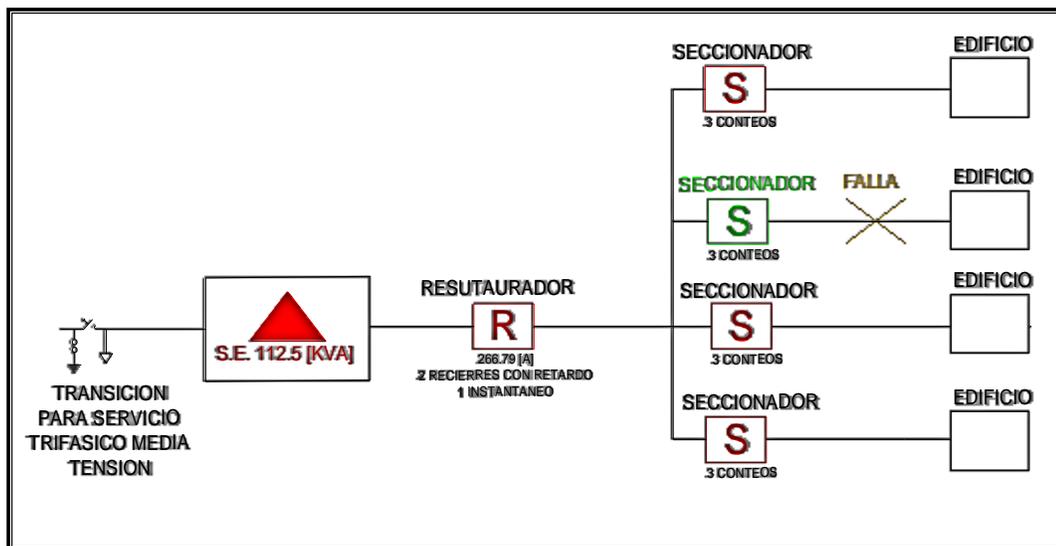


Imagen 6.19. Conexión típica del Seccionador coordinado con el Restaurador



▪ **Apartarayos.**

Dispositivo primario de protección, usado en la coordinación de aislamiento.

Las funciones de los apartarayos son:

- 1.- Operar sin sufrir daño por tensiones en el sistema y corrientes que circulen por este.
- 2.- Reducir las sobretensiones peligrosas a valores que no dañen el aislamiento del equipo, para cumplir con lo anterior se debe seleccionar el aislamiento apropiado.

Se deben instalar apartarayos del tipo RISER POLE en las transiciones y de frente muerto en los puntos normalmente abiertos de los anillos y en el último transformador de cada ramal radial.

Para la selección de apartarayos se tomara el voltaje nominal del apartarayos (V_{NA}):

$$V_{NA} = 85\% VL$$

VL= Voltaje de Linea

COMO $V_L = 23[KV]$.

$$V_{NA} = 0.85 \times 23 = 19.55[KV].$$

$$V_{NA} = 19.55[KV].$$

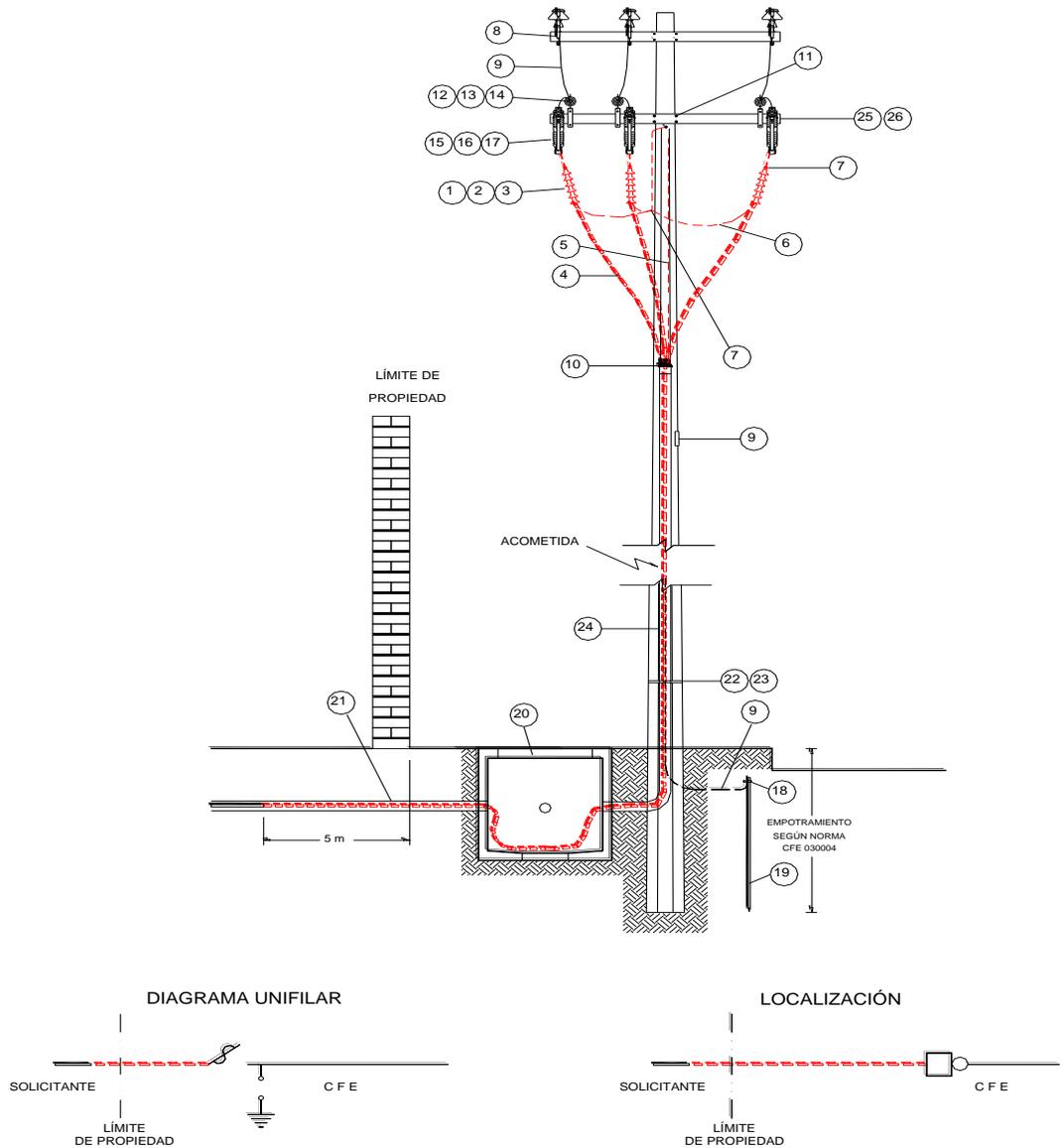
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LOS APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC					
Tensión nominal de sistema F-t kVr _{mc}	Tensión nominal del apartarrayo kVr _{mc}	Tensión nominal continua que soporta el apartarrayo f=t Mcov kVr _{mc}	Tensión máxima a las descargas para impulsos de corriente 8x20µs (kV cresta)		
			5 kA	10 kA	20 kA
23,0	15	13	35-38	38-42	43-47
	18	15	41-45	45-50	50-57
	21	17	48-53	52-58	56-58
	27	22	61-67	67-75	75-85

Como no se fabrican apartarayos de **19.55 [KV]**, se elige el inmediato superior de **21 [KV]**.



▪ **Acometida de Transición para Servicio Trifásico en Media Tensión.**

Como ya se mencionó en el Capítulo 3, se tiene una red mixta es decir aérea-subterránea, puesto que CFE entrega 23 [kV] desde postes. La acometida entra a una tubería para ser conducido de manera subterránea hasta un registro de media tensión quedando 5 [m] dentro de la propiedad del solicitante, a partir de esa distancia el solicitante se encarga de la distribución en el circuito en nuestro caso el sistema en anillo abierto.



NOTAS.

- 1.- LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA ACOMETIDA SE REPRESENTAN CON UNA LÍNEA PUNTEADA.
- 2.- 20 m DE ACOMETIDA SERÁN CON CARGO A CFE, DE REQUERIRSE MAYOR LONGITUD, LA DIFERENCIA SERÁ CON CARGO AL SOLICITANTE.
- 3.- LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS (TERMINALES, SOPORTES, ETC.) PARA LA RECEPCIÓN DE LA ACOMETIDA SERÁN A CARGO DEL SOLICITANTE.
- 4.- LA OBRA CIVIL NECESARIA PARA LA INSTALACIÓN DE LA ACOMETIDA, SERÁ CONSTRUIDA POR EL SOLICITANTE.
- 5.- ESTA ESPECIFICIÓN ES APLICABLE CUANDO LA LONGITUD ENTRE LA ESTRUCTURA DE TRANSICIÓN Y EL LÍMITE DE PROPIEDAD NO SEA MAYOR DE OCHO METROS

Imagen 6.21. Acometida en media tensión.



NUM.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN CORTA	CANTIDAD:		
			(Tensión kV)		
			13	23	33

MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE LA ACOMETIDA A CARGO DE CFE:

1	PZA	Terminal MT premoldeada 15-1/0	3		
2	PZA	Terminal MT premoldeada 25-1/0		3	
3	PZA	Terminal MT premoldeada 35-1/0			3
4	m	Cable AL(1/0)- XLP	60	60	60
5	Kg.	Cable Cu 2	4	4	4
6	Kg.	Cable de cobre Cu 8	1	1	1
7	PZA	Conector zapata a compresión	3	3	3

MATERIAL Y EQUIPO PARA LA INSTALACIÓN DE LA ACOMETIDA A CARGO DEL SOLICITANTE

8	PZA	Conector línea viva LV13	3	3	3
9	Kg.	Alambre de Cu 4	2	2	2
10	PZA	Sello cinta termocontractil	1	1	1
11	PZA	Perno DR 16x457	4	4	4
12	PZA	Apartarrayo ASOM-II-25-10	3		
13	PZA	Apartarrayo ASOM-II-25-18		3	
14	PZA	Apartarrayo ASOM-II-25-21			3
15	PZA	Cortacircuitos fusible CCF 15- 100-110- 8000	3		
16	PZA	Cortacircuitos fusible CCF 27-100-150-6000		3	
17	PZA	Cortacircuitos fusible CCF 38-100-200-2000			3
18	PZA	Conectador MET-16	1	1	1
19	PZA	Electrodo para tierra ACE-16	1	1	1
20	PZA	Registro de media tensión	1	1	1
21	m	Banco de ductos para media tensión	20	20	20
22	m	Fleje de acero	3	3	3
23	PZA	Grapa para fleje	3	3	3
24	PZA	Tubo conduit de 101,6 mm de diámetro	9	9	9
25	PZA	Cruceta PT 200	2	2	
26	PZA	Cruceta PT 250			2

NOTAS:

- (*) El servicio se identificará mediante una Placa con dimensiones de 300x100 mm, la cual debe pintarse en color amarillo, con leyendas negras.
- (1) CFE definirá el poste del cual se proporcionará la acometida, en caso de no existir, su instalación será con cargo al solicitante.
- (2) El equipo de medición debe localizarse en el límite de propiedad del solicitante.
- (3) En casos especiales de carga o valor de corto circuito, se establecerá el calibre de conductor, así como el -equipo de protección y de seccionalización que resulte adecuado.



CAPITULO 7

SISTEMA DE TIERRAS

El globo terráqueo es considerado por la física, específicamente de la rama de la electricidad, como un potencial eléctrico (referencial) igual a cero volts. A la Tierra en sí misma, así como cualquier conductor conectado a ella, se le llama tierra. La energía es transportada por los conductores, pero estos pueden estar sujetos a posibles fallas de aislamiento, fallas a tierra (cortocircuitos) o descargas atmosféricas, en este caso, se corre el riesgo de que las partes metálicas que estén cerca de dicha falla, alcancen potenciales peligrosos, pues si hay contacto directo entre una persona y un equipo electrificado, le puede causar desde alteraciones del ritmo cardíaco hasta la muerte. Por tal motivo, la puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los equipos al mismo nivel de tierra.

La puesta a tierra es una unión eléctrica directa, sin protección alguna, en una parte del circuito eléctrico, o de una parte metálica no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo.

Los principales objetivos de un sistema de puesta a tierra en una instalación eléctrica, en general, son: salvaguardar a las personas que se encuentren en dicha instalación, o en sus proximidades, para que no sufran una descarga eléctrica peligrosa, garantizar la integridad de los equipos existentes y asegurar la continuidad del suministro de energía eléctrica. Para lograr esto, la resistencia equivalente del sistema de puesta a tierra debe ser lo suficientemente baja para que las corrientes de cortocircuito se disipen rápidamente en el terreno, así como las “tensiones que una persona pueda recibir, sean inferiores a los límites máximos de paso y de contacto” establecidos por las normativas de seguridad vigentes, tanto nacional como internacionalmente.

7.1 Sistemas de puesta a tierra

Según la IEEE, un sistema de puesta a tierra es: “una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra”.

Los sistemas de puesta a tierra conectan una parte del circuito eléctrico, de las partes metálicas de los equipos, a un electrodo enterrado en el suelo, que suele ser generalmente, una barra, placa o malla de cobre o hierro galvanizado, o un conjunto de ellas, con el fin de conseguir una unión con la menor resistencia eléctrica posible entre la parte conductora y la tierra.

7.2 Objetivos y Clasificación de un Sistema de Tierras

Un buen sistema de puesta a tierra debe lograr los siguientes objetivos:

- a. Mantener una diferencia de potencial baja entre las distintas estructuras metálicas, para así asegurar que si una persona que se encuentra cerca de las inmediaciones de un sistema de puesta a tierra, y se presente una falla, ésta no quede expuesta a un choque eléctrico peligroso para su vida.



- b. Proveer un camino rápido para que las corrientes por el sistema bajo condiciones de falla, puedan circular hacia el terreno, sin exceder cualquier límite de operación de los equipos que afecten adversamente la continuidad del servicio.
- c. Proteger los equipos, para que no sufran ningún daño severo en el momento de que ocurra una falla.

Con respecto a su funcionalidad, los sistemas de tierra se clasifican como sigue:

A) Sistemas de tierra de protección

Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas en tensión ni aisladas y con las cuales se puede poner en contacto el personal. Por ejemplo: carcasa de una máquina eléctrica, herrajes o fierros de sostén de los aisladores, secundario de los transformadores de media, sostenes de la línea eléctrica, etc.

B) Sistemas de tierra de funcionamiento

Sirven para poner en tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, equipos para la conexión de la tensión contra tierra, apartarrayos, etc.).

C) Sistemas de tierra de trabajo

Son sistemas de tierra de protección con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación.

7.3 Elementos que conforman un Sistema de Puesta a Tierras

Los elementos que constituyen un sistema de puesta a tierra, son:

- a) conductores
- b) electrodos de tierra
- c) elemento conector entre el conductor y los electrodos.

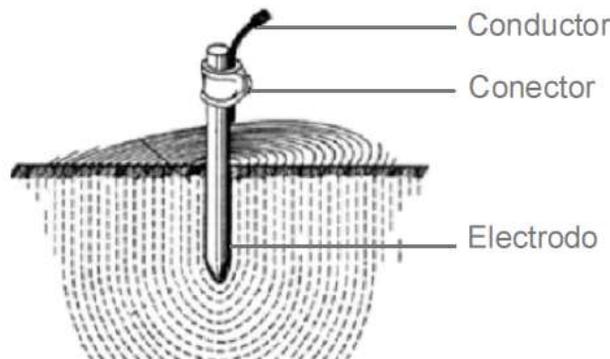


Imagen 7.1. Elementos de un Sistema de Puesta a Tierra.



Conductores

En un sistema de puesta a tierra los conductores pueden ser: los de la malla de tierra, que permiten la unión entre los electrodos que conforman el sistema de puesta a tierra, o los de acoplamiento que aseguran que las partes conductivas expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan unidas a la malla de tierra y al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica.

Estos conductores suelen ser en forma de cable de cobre trenzado desnudo, y el calibre se selecciona para que éste sea capaz de soportar la corriente de falla estimada, por la duración considerada, sin que sufra ningún tipo de deterioro.

Electrodos de Tierra

El electrodo es el elemento del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno. Los electrodos de tierra deben tener propiedades mecánicas y eléctricas apropiadas para responder satisfactoriamente a las solicitudes que los afectan, durante un período de tiempo relativamente largo. El material debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo, por lo que el material preferido generalmente es el cobre. El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, conductores horizontales, placas, combinación de conductores horizontales y barras verticales (mallas de tierra).

Conectores

El conector utilizado para sistemas de puesta a tierra es un elemento que tiene como función unir o conectar el conductor de puesta a tierra con los electrodos u otros conductores.

En general el conector es un dispositivo metálico de conductancia eléctrica y resistencia mecánica adecuadas, usado para conectar los conductores y electrodos. Los conectores podrán estar enterrados o instalados arriba de la superficie.

7.4 Clasificación de Electrodos

Varillas

Las varillas son los electrodos más comúnmente usados en los sistemas de puesta a tierra, imagen 7.2

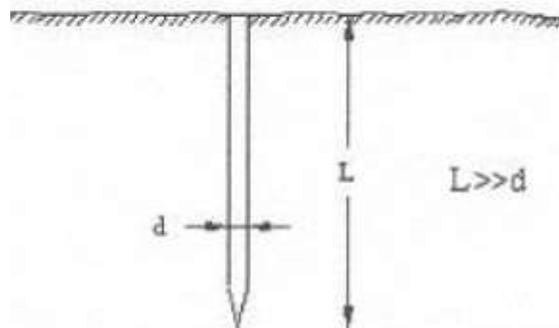


Imagen 7.2. Electrodo tipo vertical.



El material de la varilla es de cobre puro o de acero recubierto de cobre. El tipo recubierto se usa cuando la varilla se entierra por medios mecánicos (impacto) ya que el acero empleado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente para que no se deslice al enterrar la varilla.

La resistencia de una varilla vertical de radio (a) y longitud (l) enterrada a cierta profundidad en metros, en un terreno de resistividad [Ω -m], su resistividad equivalente es:

$$R = \frac{\rho e}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{4l}{a} \right) - 1 \right] [\Omega]$$

donde:

ρe : resistividad equivalente del terreno [Ω -m]

a: radio de la varilla[m²]

l: longitud de la varilla[m]

Placas

Los electrodos de placa tienen su longitud y ancho mucho mayor que su espesor, son de cobre o de acero galvanizado, imagen 7.3.



Imagen 7.3. Electrodo tipo placa.

Una expresión simplificada para determinar su resistencia de puesta a tierra es:

$$R = \frac{0.8 \rho e}{L} [\Omega]$$

donde:

ρe : resistividad equivalente del terreno [Ω -m]

L: profundidad máxima[m]

Electrodos Horizontales

Los electrodos horizontales (Imagen 7.4) están hechos de cintas de cobre de alta conductividad o conductores retorcidos (cables). La cinta es el material más conveniente ya que para una sección



dada de material presenta una mayor superficie y se considera que tiene un comportamiento mejor a alta frecuencia.

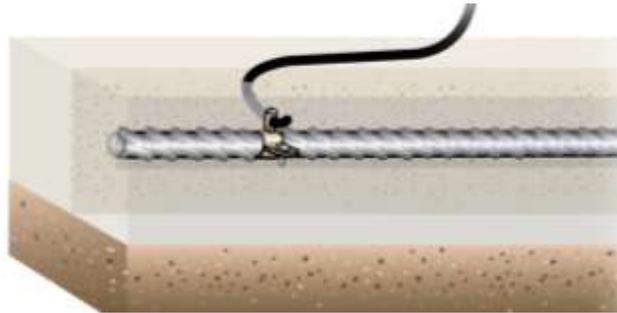


Imagen 7.4. Electrodo Horizontal.

El tipo de sistema de tierras depende como ya se ha visto del tipo de suelo. Sin embargo cuando los electrodos verticales no son la opción, puede instalarse electrodos horizontales.

La configuración de electrodos horizontales puede ser desde un conductor sencillo enterrado horizontalmente hasta configuraciones en estrella de dos o más lados.

El uso de estos sistemas depende en gran medida del área donde se desea instalar. Ya que pueden abarcar grandes áreas de terreno. Sin embargo, una ventaja es que pueden utilizarse las sepas o trincheras destinadas para conductores de media tensión en sistemas subterráneos. Su aplicación se reduce a lugares donde no se puede colocar electrodos verticales, hay suficiente área y no tienen acceso fácil evitándose el robo del conductor.

Electrodos Químicos

Este tipo de electrodo consiste de un tubo de cobre electrolítico relleno en su interior de compuestos químicos, básicamente de sales solubles con el agua o sustancias conductoras, que se incorporan lentamente al terreno mediante perforaciones de drenaje en el tubo.

Pueden ser colocados en forma vertical u horizontal dependiendo de las características del terreno (imagen 7.5).

En ocasiones el terreno tiene una alta resistividad y no es suficiente con la instalación de electrodos para tener un sistema de tierras. Así que se recurre a sustancias químicas para bajar la resistividad del terreno y a la vez reducir el valor de resistencia a tierra.

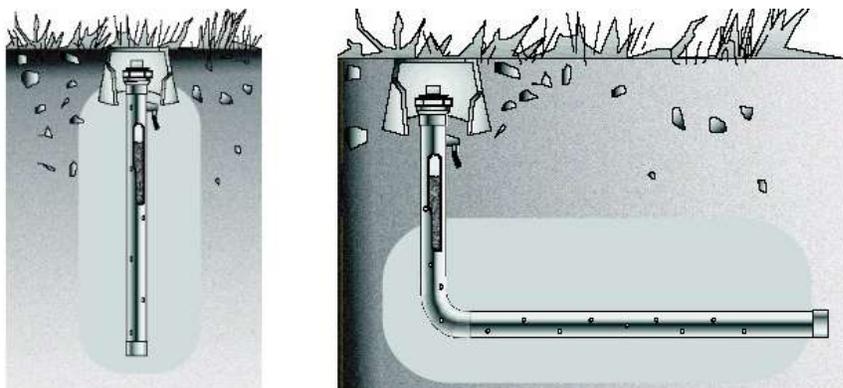


Imagen 7.5. Electrodos Químicos.



Mallas a Tierra

Las mallas a tierra son redes formadas por la unión de conductores horizontales, normalmente en direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales, imagen 7.6. La malla podría ser de cualquier forma, sea regular o irregular.

Para efectuar un cálculo aproximado de su resistencia de puesta a tierra, se utiliza la expresión de Laurent:

$$R = \frac{\rho_e}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho_e}{L} [\Omega]$$

Para una mayor exactitud, se adiciona la profundidad de la red de tierra, por lo tanto:

$$R = \rho_e \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} * A} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] [\Omega]$$

donde:

ρ_e : resistividad equivalente del terreno [Ω -m]

A: superficie que cubre la malla [m^2]

L: longitud total de conductor de la malla [m]

h: Profundidad de la red de tierra

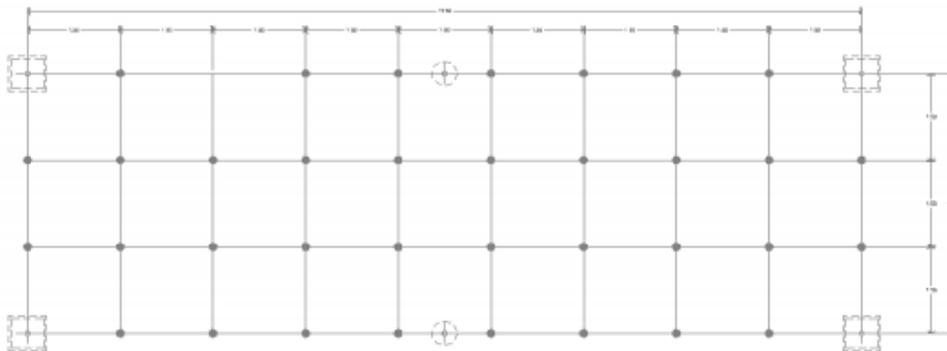


Imagen 7.6. Malla de puesta a Tierra

Conexiones

La conexión es el medio mediante el cual se unen los electrodos de tierra a los conductores de acoplamiento; esta conexión debe ser mecánicamente robusta, tener buena resistencia a la corrosión y baja resistividad eléctrica.

El tipo de conector más frecuentemente usado es el de la unión exotérmica, que se basa en propiciar una fusión entre las partes de conductor a conectar mediante elevadas temperaturas, resultante de la reacción de una pólvora especial de óxido de cobre y aluminio dentro de un molde



de grafito, logrando formar una unión molecular entre todos los hilos del conductor. En la imagen 7.7 se muestran unos ejemplos de este tipo de conexión

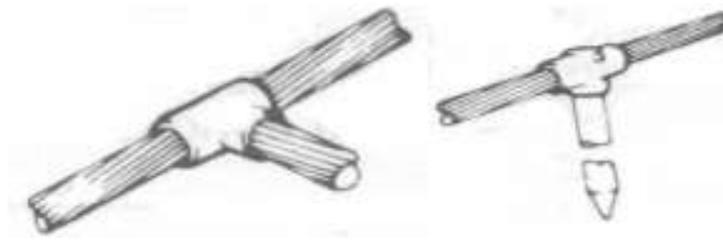


Imagen 7.7. Conexiones Exotérmicas.

7.5 Resistividad de Los Suelos

Es una propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, la cual está determinada por el tipo de suelo, el contenido de humedad del mismo, su composición química y la temperatura, entre otros factores.

La resistividad se mide en Ohm-metro. Existen dos formas para determinarla, una es empírica, mediante tabulación y conocimiento del terreno y la otra efectuando la medición directamente en el terreno.

Una clasificación general es:

VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELOS	
Tipo de suelo	Resistividad (Ω m)
Arcilla	2 – 100
Pedregoso cubierto con césped	250 - 500
Arena y grava	50 -1,000
Piedra caliza de superficie	100 - 10,000
Piedra caliza	5 - 4,000
Esquisto o pizarra	5 – 100
Piedra arenisca	20 - 2,000
Granito, basalto	1,000

Tabla 7.1. Resistividad de Suelos

Tipo de suelo

En la Ciudad de México en general el suelo es heterogéneo, teniendo zonas localizadas como: Roca volcánica (basalto) en el sur, Arena en el Poniente, Tierra húmeda en el Oriente, Roca o Tepetate en el Norte. No se tiene un mapa con el tipo de terreno bien definido y el tipo de suelo puede cambiar de características en unos cuantos metros de separación.



Contenido de humedad y sales

Este aspecto es el más importante para que un suelo sea conductor de electricidad, y el porcentaje de agua del suelo depende del contenido de arcilla, materia orgánica, clima, lugar, época del año, etc. La arena no retiene la humedad y como resultado tiene una resistividad alta. Las arcillas retienen la humedad y son conductores de la electricidad, por ejemplo, el caso de la bentonita, que es una arcilla que retiene agua.

El agua con alto contenido de sales es buena conductora de la electricidad, por el contrario el agua sin sales (agua destilada) es poco conductora, por lo que podemos decir que entre mayor contenido de sales tenga el suelo húmedo mejor conductor de electricidad será.

Tamaño del grano y su distribución

El tamaño del grano y su distribución es importante en la conducción eléctrica, ya que si se tienen granos con grandes espacios, se reduce el área de contacto, mientras que si se tienen granos con diferentes tamaños, los espacios son pequeños y aumenta el área de contacto llenando el agua el resto.

Temperatura

El agua a temperaturas bajas es mala conductora y la resistividad de un terreno está en función del contenido de humedad, por lo que en zonas frías la resistividad puede ser grande.

7.6 Potenciales peligrosos

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

- **Potencial de Toque o contacto**
- **Potencial de paso**
- **Potencial Transferido**

Corriente de fibrilación

Es aquella que se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El potencial tolerable del cuerpo humano está en función de esta corriente, que al circular por el corazón, primeramente le produce una arritmia cardiaca, procedimiento a detenerlo por completo causándole la muerte.

$$I = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \text{hasta 50 kg.}$$

$$I = \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad \text{mayor a 50 kg hasta 70 kg.}$$



Dónde:

I = Corriente de Fibrilación.

t = Tiempo que circula la Corriente

Esta ecuación no es funcional para tiempos largos o muy cortos.

Corrientes de 1 a 6 [mA] traen como consecuencia la contracción de los músculos, es decir se pierde el control de los mismos.

Potencial de Contacto y Paso

Dentro del diseño de un sistema de puesta a tierra, las normativas vigentes han establecido que se debe conocer dos variables de suma importancia, las tensiones de paso y contacto. Estas variables establecen si el sistema de puesta a tierra es aceptable o no, al compararlas con valores máximos permisibles. Estos valores máximos permisibles tienen como fundamento impedir daños al cuerpo humano por el paso de corriente y toman como elementos de cálculo a la magnitud y duración de la corriente de corto circuito.

Potencial de Toque(Contacto)

Se define como el valor de la tensión que se presenta, al paso de la corriente a tierra, entre las masas metálicas conectadas a tierra y el terreno circunvecino, que puede eventualmente, en alguna forma, entrar en contacto con una persona. Tomando las consideraciones de corriente de fibrilación y de resistencia del cuerpo humano, el potencial que podemos soportar está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{116 + (0.17 * \rho)}{\sqrt{t}} \quad \text{hasta 50 kg.}$$

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{157 + (0.24 * \rho)}{\sqrt{t}} \quad \text{mayor a 50 kg hasta 70 kg.}$$

Dónde:

ρ = Resistividad de la superficie del suelo en ohm-metro (por regla general es grava, tezontle o una tarima de madera con un tapete.

t = Duración de la falla en segundos.

Por desgracia la mayor parte de los accidentes por electrocución ocurren en el hogar por causa de este potencial.

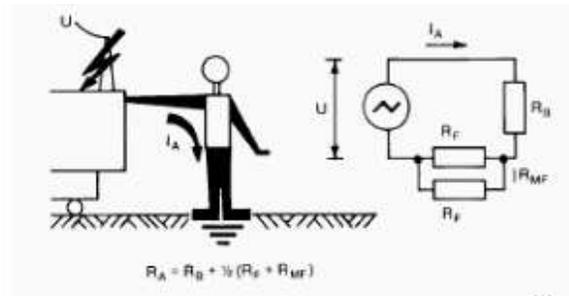


Imagen 7.8. Circuito equivalente del potencial de toque.

Potencial de Paso

Es el que puede soportar un individuo que se encuentra parado o caminando cerca del lugar de la falla, si se rebasa este potencial, se produce una contracción muscular en las piernas, es decir, no responden a los impulsos del cerebro y el individuo cae al piso, donde queda expuesto a las corrientes que circulan por el corazón. Las siguientes ecuaciones nos ayudan a calcular este potencial para diferentes pesos.

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{116 + (0.7 * \rho)}{\sqrt{t}} \quad \text{hasta 50 kg.}$$

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{157 + \rho}{\sqrt{t}} \quad \text{mayor a 50 kg hasta 70 kg.}$$

Dónde:

ρ = Resistividad de la superficie del suelo en ohm-metro (por regla general es grava, tezontle o una tarima de madera con un tapete).

t = Duración de la falla en segundos.

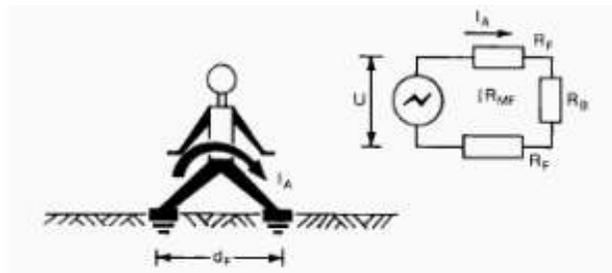


Imagen 7.9. Circuito equivalente potencial de Paso.

Potenciales Transferidos

Estos se producen cuando existen elementos metálicos que salen del lugar de la falla, como son: rieles, hilos de guarda, tuberías, etc.

Bajo condiciones normales el equipo eléctrico que esta puesto a tierra opera a nivel de tensión de cero o cercano a cero y este potencial es idéntico al de una red remota. Durante una condición de falla se eleva el potencial el potencial con respecto a la red remota, existiendo una diferencia



de potencial, que es proporcional a la magnitud de la corriente en la malla de tierras y a su resistencia.

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

Duración de falla (t)

La duración de falla puede variar, sin embargo depende de ello si una persona sobrevive o no. Típicamente el tiempo de apertura de interruptores es como máximo de medio segundo, sin embargo se ha demostrado que el peligro de fibrilación ventricular disminuye con tiempos de falla de un tercio de segundo.

Por esto, es importante coordinar adecuadamente las protecciones y así librar en el menor tiempo posible la corriente de falla.

Además se debe tener presente que al aumentar la profundidad de los dispersores *disminuyen los valores de los gradientes en la superficie* y también las tensiones de paso; en cambio *augmenta la tensión de contacto* entre dispersores (o partes metálicas unidas entre ellos) y el terreno circunvecino.

Con el fin de reducir la resistencia óhmica de los sistemas de dispersión de tierra, se deberán unir, cuando sea posible, todos los sistemas de dispersión de tierra de protección existentes; de esta manera se reduce la resistencia global. A tal objeto, cuando no exista una dificultad particular, es oportuno unir los sistemas de protección, también aquellos de funcionamiento, para evitar que posibles circuitos de tierra se cierren, a través de líneas de menor resistencia del terreno, entre dispersores distantes, creando en las superficies peligrosas tensiones de paso.

7.7 Diseño del Sistema de Tierras

Hay muchos factores que tienen que ser considerados para realizar un adecuado diseño del sistema de tierras para la Unidad Habitacional.

Se plantea una malla de tierra, aprovechando la obra civil que se realiza para la canalización del sistema subterráneo en media tensión e iluminación en estacionamientos, debido a que el área es considerablemente grande es conveniente colocar una malla a tierra.

El conductor seleccionado es cable desnudo de cobre 4/0 AWG, siendo éste el más empleado por su resistencia mecánica. Se utiliza el cobre por su mejor conductividad tanto eléctrica como térmica y sobre todo por ser resistente a la corrosión. En la siguiente tabla se indica la longitud total del conductor que forma la malla.



Longitudes		
	Cantidad	Unidades
Est. Grande	2354	m
Est. Chico	2095	m
Perímetro	556	m
Total	5005	m

Imagen 7.10. Longitud de Malla

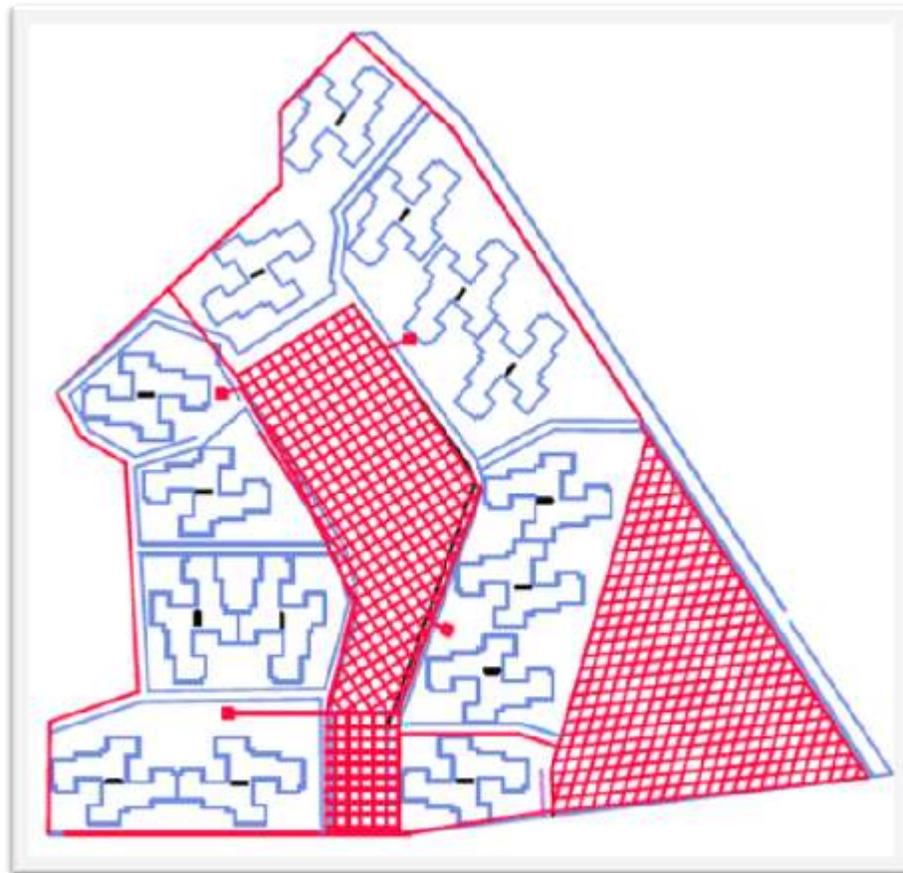


Imagen 7.10. Diseño de Malla

El tipo de terreno con el que cuenta la Unidad Habitacional en su mayoría está compuesto de suelo pedregoso con césped que tiene una resistividad aproximada de 250 (Ω -m)

Para calcular la resistividad de la malla se emplea la expresión de Laurent:

$$R = \rho e \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] [\Omega]$$



$$\rho_e = 250 (\Omega\text{-m})$$

$$L=5000 \text{ [m]}$$

$$A=20\,000 \text{ [m]}$$

$$h=.8 \text{ [m]}$$

Sustituyendo los valores de la Ecuación.

$$R = 250 (\Omega\text{m}) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{\sqrt{(20)(20\,000) \text{ [m]}}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[m] \left(\sqrt{\frac{20}{(20000)[m]}} \right)} \right) \right] [\Omega]$$

Desarrollando ecuación.

$$R = 250 (\Omega\text{m}) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{\sqrt{400000 \text{ [m]}}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[m] \left(\sqrt{\frac{1}{(1000)[m]}} \right)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega\text{m}) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{632.455 \text{ [m]}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)(0.0316)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega\text{m}) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{632.455 \text{ [m]}} \left(1 + \frac{1}{1.02528} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega\text{m}) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{632.455 \text{ [m]}} (1.9753) \right]$$

$$R = 250 (\Omega) \left[\frac{1}{5000} + 3.1232 \times 10^{-3} \right]$$

$$R = 250 [3.3233 \times 10^{-3}] [\Omega]$$

$$\boxed{R = .83 [\Omega]}$$

La subestación que alimenta la Unidad Habitacional es Odón de Buen, la Corriente de Corto Circuito cuando se presenta una falla de fase a tierra de dicha subestación es de 2050 [A]

$$I_{cc} = 2050 \text{ [A]}$$



Ahora calculamos el potencial de malla (potencial más alto que se presenta durante una falla):

$$V_{malla} = I_{cc} * R [V]$$

$$V_{malla} = 2050[A] * 0.83[\Omega]$$

$$\boxed{V_{malla} = 1701.5[V]}$$

Cálculo del Potencial de Toque

Los diversos componentes del suelo determinan el valor de la resistividad del terreno, por lo tanto cuando se tiene resistividad alta se considera un mal conductor pero a su vez un buen aislante. Por ejemplo, se sabe que la grava tiene mayor resistividad que la arena, esto es debido a su granulometría.

Lo anterior nos quiere decir que la capa de material que se debe tener inmediato a la base de los equipos o debajo de las personas, debe ser un material que presente una resistividad alta con el fin de reducir las descargas de corriente producidas por una falla a tierra en la malla. Si la capa interior del suelo tiene una resistividad más baja que el material superficial, solo algunas corrientes de rejilla ascenderán hacia la capa delgada del material superficial, entonces al colocar este material, la corriente que circula por el cuerpo humano disminuye considerablemente debido a la gran resistencia de contacto que ofrece entre a tierra y los pies.

Además la capa superficial se utiliza para retardar durante un periodo largo, la evaporación de la humedad y así, limitar que la capa superior de la tierra se seque durante la estación seca del año. Cabe mencionar que no siempre se logra el objetivo de reducir las descargas de corriente, pero si garantiza una proporción 10:1. Por tal motivo se acostumbra colocar en la base de los transformadores tarimas aislantes sobre una capa de concreto.

En la superficie de los transformadores se colocará grava que tiene una resistividad de 7,000 [Ω/m], por lo tanto:

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{116 + (0.17 * \rho)}{\sqrt{t}} \text{ para } 50 \text{ kg.}$$

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{116 + (0.17 * 7000)}{\sqrt{.5}} = \boxed{1846.96 [V]}$$

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{157 + (0.24 * \rho)}{\sqrt{t}} \text{ para } 70 \text{ kg.}$$

$$\text{Potencial de Toque} = \frac{157 + (0.24 * 7000)}{\sqrt{.5}} = \boxed{2597.91 [V]}$$



Calculo del Potencial de Paso

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{116 + (0.7 * \rho)}{\sqrt{t}} \text{ para } 50 \text{ kg.}$$

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{116 + (0.7 * 7000)}{\sqrt{.5}} = \boxed{7093.69 \text{ [V]}}$$

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{157 + \rho}{\sqrt{t}} \text{ para } 70 \text{ kg.}$$

$$\text{Potencial de Paso} = \frac{157 + 7000}{\sqrt{.5}} = \boxed{10\ 121.52 \text{ [V]}}$$

Considerando el potencial de toque más desfavorable:

$$V \text{ malla} < E \text{ toque}$$

$$\boxed{1701.5 < 1846.96}$$

Por lo que el diseño de nuestro sistema de tierra es correcto.

Si consideramos un área menor a la total (15000m²)

$$R = 250 (\Omega m) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{\sqrt{(20)(15\ 000) \text{ [m]}}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[m] \left(\sqrt{\frac{20}{(15000)[m]}} \right)} \right) \right] [\Omega]$$

$$R = 250 (\Omega m) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{\sqrt{300000 \text{ [m]}}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[m] \left(\sqrt{\frac{1}{(750)[m]}} \right)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega m) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + \frac{1}{547.72 \text{ [m]}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)(0.03651)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega m) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + 1.825 \times 10^{-3} \left(1 + \frac{1}{1.029} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega m) \left[\frac{1}{5000 \text{ [m]}} + 1.825 \times 10^{-3} (1.97) \right]$$



$$R = 250 (\Omega) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + 3.6 \times 10^{-3} \right]$$

$$\boxed{R = .95[\Omega]}$$

$$V_{\text{malla}} = I_{\text{cc}} * R [V]$$

$$V_{\text{malla}} = 2050[A] * 0.95[\Omega]$$

$$\boxed{V_{\text{malla}} = 1947.32[V]}$$

$$V_{\text{malla}} < E_{\text{toque}}$$

$$\boxed{1947.32 > 1846.96}$$

Por lo que el diseño de nuestro sistema de tierra no es correcto.

Si consideramos un área menor a la total (19000 m²)

$$R = 250 (\Omega \text{m}) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + \frac{1}{\sqrt{(20)(19\ 000) [\text{m}]}} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[\text{m}]\left(\sqrt{\frac{20}{(19000)[\text{m}]}}\right)} \right) \right] [\Omega]$$

$$R = 250 (\Omega \text{m}) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + \frac{1}{\sqrt{380000} [\text{m}]} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)[\text{m}]\left(\sqrt{\frac{1}{(950)[\text{m}]}}\right)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega \text{m}) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + \frac{1}{616.44 [\text{m}]} \left(1 + \frac{1}{1 + (.8)(0.03244)} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega \text{m}) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + 1.6222 \times 10^{-3} \left(1 + \frac{1}{1.026} \right) \right]$$

$$R = 250 (\Omega \text{m}) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + 1.6222 \times 10^{-3} (1.9746) \right]$$



$$R = 250 (\Omega) \left[\frac{1}{5000 [\text{m}]} + 3.20 \times 10^{-3} \right]$$

$$\boxed{R = .85[\Omega]}$$

$$V_{\text{malla}} = I_{\text{cc}} * R [V]$$

$$V_{\text{malla}} = 2050[A] * 0.85[\Omega]$$

$$\boxed{V_{\text{malla}} = 1742.5[V]}$$

$$V_{\text{malla}} < E_{\text{toque}}$$

$$\boxed{1742.5 < 1846.96}$$

Por lo que el diseño propuesto con un área de 19000 m² de nuestro sistema de tierra es correcto.



Conclusiones

En el presente trabajo se complementó los conocimientos respecto al diseño de instalaciones eléctricas en unidades habitacionales, así como el uso eficiente de energía, mediante una selección adecuada de elementos eléctricos y luminarios, dependiendo de las necesidades que se tengan.

Para cumplir con este objetivo, se consideró que el factor más importante en un sistema de distribución, es la carga y ciertas normas establecidas para garantizar la seguridad de la instalación.

Sin embargo, el análisis tanto el diseño del sistema de distribución, como el uso eficiente de la energía, pueden profundizarse en cada escenario presentado (departamento, edificio, estacionamientos, pasillos exteriores), siguiendo las normas oficiales mexicanas y proponiendo un plan de ahorro de energía a nivel usuario. En cuanto a tecnología, también se cuentan con aparatos electrodomésticos que tienen certificación de ahorro de energía.

En cuanto a ahorro de energía, la selección de lámparas VAM cerámicos se plantea como una solución para nuevas construcciones de unidades habitacionales. Ya que no sólo se cumple con niveles de iluminancia establecida por normas oficiales, sino que además se generan ahorros en facturación de recibos de consumo de energía.

En un futuro se pueden proponer Lámparas con tecnología avanzada de LED lo cual para este caso no se propuso por su alta inversión inicial y el nivel socioeconómico medio para una Unidad Habitacional de interés Social.

El trabajo presentado es de gran utilidad a nivel académico y profesional para que presentes y futuros compañeros que cursen la carrera de ingeniería eléctrica electrónica tengan un panorama de los distintos parámetros que se involucran en un diseño eléctrico de un sistema de distribución. Así mismo, que sus bases teóricas y conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera, se vean reflejados en la capacidad para solucionar problemas o imprevistos que se pueden presentar en algún momento crítico de determinado proyecto.

La tesis es de gran ayuda y se puede aplicar como guía para el diseño de Unidades Habitacionales Tipo vertical, ubicadas en el Sur del Distrito Federal por su tipo de terreno.



Apéndice A

Balastro electrónico: Balastro que usa componentes a base de semiconductores para aumentar la frecuencia de operación de una lámpara fluorescente (típicamente entre 20 y 40 KHz.). La eficiencia del sistema fluorescente aumenta debido a la operación de la lámpara en alta frecuencia y a la reducción de pérdidas en el balastro. Puede suministrar a la lámpara potencia constante o variable.

Bulbo: envoltorio externo de vidrio o de otro material transparente o translucido que guarda los componentes esenciales de una lámpara eléctrica.

Candela: Unidad de intensidad luminosa, que describe la intensidad de una fuente de luz en una dirección específica.

Coefficiente de utilización: El coeficiente de utilización se refiere al número de lúmenes que finalmente alcanzan el plano de trabajo en relación a los lúmenes totales generados por la lámpara. Los valores de CU son necesarios para calcular los niveles de iluminancia promedio.

Depreciación de lúmenes: Describe la reducción del flujo luminoso a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento de la lámpara, un estimativo adecuado se tiene dividiendo el flujo luminoso a las 2000 horas de funcionamiento sobre el flujo luminoso inicial de la lámpara.

Descarga eléctrica en un gas: Es el paso de una corriente eléctrica a través de gases y vapores debido a la producción y movimiento de iones bajo la influencia de una diferencia de potencial eléctrico. Esto resulta en la emisión de radiaciones electromagnéticas; efecto que es básico en todas las aplicaciones prácticas de este fenómeno.

Difusión: La alteración de la distribución espacial de un rayo de luz, el cual después de reflejarse en una superficie o pasar a través de un medio, se propaga en múltiples direcciones.

Difusor: Un objeto que se usa para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente, y utiliza esencialmente el fenómeno de difusión.

Diodo emisor de luz (LED): dispositivo de estado sólido que incorpora una unión p-n, emitiendo radiación óptica cuando se excita por una corriente eléctrica.

Distancia interpostal: Se define como la distancia entre postes de luz.

Efecto estroboscópico: Un movimiento aparente de un objeto que es diferente de su movimiento real o una detención aparente del movimiento de un objeto, cuando la iluminación sobre el mismo se varía a una cierta frecuencia.

Eficiencia: La eficiencia se define como la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada del equipo eléctrico, se expresa en por ciento.

Eficiencia energética: es la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente.



Eficacia luminosa: relación del flujo luminoso total emitido por la(s) fuente(s) entre la potencia total consumida por el sistema, expresada en lumen por watt (lm/W).

Eficacia luminosa inicial: Es la eficacia al inicio de la vida de una lámpara.

Eficacia luminosa promedio: Es la eficacia luminosa de la lámpara después de un tiempo de funcionamiento. Esta eficacia es la que debe ser considerado como la real.

Factor de balastro (FB): Es la relación entre la luz promedio de la(s) lámpara(s) fluorescente(s) de referencia de encendido rápido operada(s) con el balastro bajo prueba y la luz promedio de la(s) misma(s) lámpara(s) operadas con un reactor patrón bajo condiciones controladas de prueba. Para lámparas de encendido precalentado e instantáneo se considera la potencia en watts en lugar del flujo luminoso en lúmens. En los 3 casos, es costumbre expresarlo en porcentaje.

Factor de potencia: Es la relación entre la potencia activa en watts y la potencia aparente en voltamperes. También es el coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente ó el coseno del argumento de la impedancia.

Flujo luminoso total: Energía radiante en forma de luz visible al ojo humano, emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo); su unidad de medida es el lumen (lm).

Flujo luminoso total final: flujo luminoso total emitido de una fuente de luz, medido al término de un periodo de prueba, en condiciones específicas.

Flujo luminoso total inicial: flujo luminoso total emitido de una fuente de luz, medido al inicio de su vida, después de un periodo de estabilización.

Flujo luminoso total nominal: flujo luminoso total emitido de una fuente de luz, en su posición ideal, que declara el fabricante.

Flujo luminoso total mantenido: relación del flujo luminoso después de un tiempo de uso determinado de la lámpara de LED, en condiciones de operación específicas, dividido por el flujo luminoso inicial de la lámpara, comúnmente expresado como porcentaje.

Iluminancia (E). Es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área; la unidad de medida es el lux (lx).

Índice de rendimiento de color (CRI): Es un valor numérico, en una escala de 0 a 100, que describe el efecto de una lámpara en el color de los objetos que ilumina en comparación con el color del mismo objeto iluminado por una fuente de luz ideal, o fuente natural como la luz del sol. El CRI no determina la temperatura de color de una fuente de luz ni viceversa.

Clasificación aproximada

Excelente	CRI de 85 a 100
Bueno	CRI de 70 a 84
Regular	CRI de 40 a 69
Malo	CRI inferior a 40

Lámpara.- Fuente fabricada para producir una radiación óptica visible.



Lámpara de descarga: Una lámpara que depende de la descarga eléctrica a través de gas o un vapor metálico o una mezcla de varios gases o vapores.

Lámpara de encendido rápido: Una lámpara fluorescente la cual debido a su construcción y al equipo auxiliar usado arranca rápidamente al conectarse a la energía eléctrica sin parpadeo.

Luminario de LED: sistema completo de iluminación, que cuenta con una fuente de luz a base de tecnología LED, controlador, disipador de calor y un control óptico para distribuir la luz.

Lámpara de aditivos metálicos.- Lámpara de descarga en alta intensidad, en la cual la mayor porción de luz se produce por radiación de los aditivos metálicos a sus productos de disociación en combinación con los vapores metálicos tales como el mercurio.

Lámpara de descarga en alta intensidad.- Lámpara de descarga eléctrica en la cual el arco productor de luz se estabiliza por la temperatura de la pared y tiene una pared de bulbo cargada por 3 W/cm^2 . Las lámparas de descarga en alta intensidad incluyen los grupos de lámparas conocidos como vapor de mercurio, aditivos metálicos y vapor de sodio en alta presión.

Lámpara de vapor de mercurio.- Lámpara de descarga en alta intensidad en la cual la mayor porción de la luz se produce directa o indirectamente por la radiación del mercurio operando a una presión parcial mayor que $1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$, este término cubre las lámparas que tienen el bulbo cubierto de fósforo.

Lámpara de vapor de sodio de alta presión.- Lámpara de descarga en alta intensidad en la cual la mayor porción de la luz se produce principalmente por la radiación del sodio operando a una presión parcial de alrededor de $6,67 \times 10^3 \text{ Pa}$ o mayor.

Lámpara fluorescente compacta autobalastada (LFCA).- La que incorpora una lámpara fluorescente compacta no reemplazable y adicionalmente los elementos necesarios para el arranque y operación estable de la fuente de luz, la cual no puede separarse sin dañarse permanentemente.

Lámpara incandescente.- Dispositivo hermético de cristal, al vacío o lleno de gas inerte, dentro del cual se produce luz mediante un filamento que se calienta hasta la incandescencia por el paso de corriente eléctrica.

Lámpara halógena. Lámpara con filamento incandescente de tungsteno con bulbo de cuarzo para resistir altas temperaturas. Contiene gases halógenos (yodo, cloro, bromo y flúor), que retardan la evaporación del tungsteno. También se le conoce como lámpara de cuarzo y produce más luz y de mayor calidad que la incandescente convencional.

Lumen: El flujo luminoso emitido dentro de la unidad de ángulo sólido (steradian) por una fuente puntual con una intensidad uniforme de una candela. Una fuente de luz de una candela que emite luz uniformemente en todas direcciones produce un lumen por unidad de ángulo sólido (steradián). También es una radiación monocromática de 540 THz que equivale a $1/683 \text{ watts}$.

Luminancia: es la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada. Alternativamente, también se puede definir como la densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección dada.



Luminancia Promedio: se define como el valor promedio de las luminancias calculadas en los puntos especificados.

Lux: Lumen por m², unidad de iluminación recomendada por la CIE.

Luxómetro: Aparato para la medición de iluminancia o niveles de iluminación.

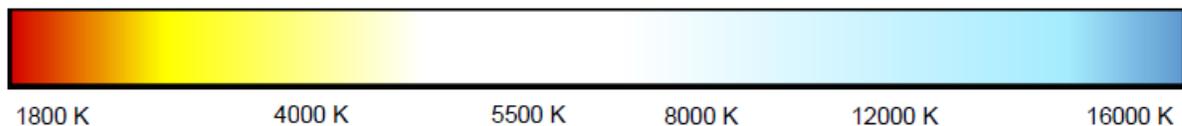
Módulo de LED: fuente de luz que cuenta con uno o más LEDs, puede contener elementos adicionales como son ópticos, mecánicos, eléctricos y electrónicos, excluyendo el controlador.

NOM: Siglas que identifican a las normas obligatorias mexicanas.

NMX: Siglas que identifican a las normas voluntarias mexicanas.

Temperatura de color correlacionada (TCC): expresa la apariencia cromática de una fuente de luz por comparación con la apariencia cromática de la luz emitida por un cuerpo negro a una temperatura absoluta determinada, su unidad de medida es el Kelvin (K), usado para clasificar a las lámparas de acuerdo con su aspecto cromático, es decir, para evaluar su "calidez" o "frescura". Las lámparas con TCC de 3,000K o menos se consideran cálidas, las de 3,500K neutrales o tibias y las de 4,000K en adelante frías. La selección de una lámpara por su TCC depende de la aplicación.

Cielo azul	10000 a 30000
Cielo nublado	7000
Luz solar al mediodía	5200
Luna	4100



Reflexión: Retorno de una radiación por una superficie sin cambiar la frecuencia de las componentes monocromáticas de que está compuesta esta radiación.

Refracción: El cambio en la dirección de la propagación de una radiación, determinada por el cambio en la velocidad de propagación al pasar a través de un medio ópticamente no-homogéneo, o al pasar de un medio a otro.

Relación de uniformidad: Con el objeto de asegurar que el nivel de alumbrado en un punto concreto del área no sea inferior a cierto valor, debe cumplirse también una relación de uniformidad de iluminancia, definido como:

$$\frac{\text{Iluminancia promedio } E_{\text{promedio}}}{\text{Iluminancia mínima } E_{\text{mínimo}}}$$

Vida nominal: Es el número de horas de funcionamiento para el cual han fallado el 50% de las lámparas en uso. Es el dato que normalmente exhiben los fabricantes.

Inconvenientes de considerar la cifra de vida media:

- Está basada en ensayos de laboratorio bajo condiciones ideales.



- No facilita información acerca del comportamiento de las lámparas a lo largo de su vida (deterioro del flujo).

Vida útil: Período de funcionamiento, expresado en horas, durante el cual el flujo de la lámpara no desciende por debajo del 70% de su valor nominal.

La depreciación del 30% que considera la vida útil tiene en cuenta:

- La depreciación luminosa de las lámparas a consecuencia del envejecimiento.
- La depreciación del flujo global debido al fallo de algunas lámparas después de cierto tiempo.

Apéndice B

PUESTA A TIERRA DE EQUIPO Y CONEXIÓN A TIERRA

Objetivos

Los fines de la puesta a tierra son:

- 1) Fijar el nivel de potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo.
- 2) Proteger las máquinas y equipos contra las sobretensiones.
- 3) Asegurar la protección del personal en lo que se refiere a los peligros de la corriente eléctrica.

Función

Con respecto a su funcionalidad, los sistemas de tierra se clasifican como sigue:

D) Sistemas de tierra de protección

Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas en tensión ni aisladas y con las cuales se puede poner en contacto el personal. Por ejemplo: carcasa de una máquina eléctrica, herrajes o fierros de sostén de los aisladores, secundario de los transformadores de media, sostenes de la línea eléctrica, etc.

E) Sistemas de tierra de funcionamiento

Sirven para poner en tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, equipos para la conexión de la tensión contra tierra, apartarrayos, etc.).

F) Sistemas de tierra de trabajo

Son sistemas de tierra de protección con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación.



Constitución

Los sistemas de tierra comprenden:

- I. *El dispersor*. Constituido por un cuerpo metálico o un conjunto de cuerpos metálicos puestos en contacto directo con la tierra y destinados a dispersar las corrientes de tierra.
- II. *El conductor de tierra*. Lo constituye un conductor que sirve para unir las partes de puesta a tierra con el dispersor.
- III. *Los colectores eventuales de tierra*. Conjunto de colectores, en los cuales se hacen más dispersores y conductores de corriente las terminales de ellos.

Características

Las principales características que interesan para los sistemas de dispersión son:

1. *La corriente de corto circuito de fase a tierra I* , que corresponde al valor máximo que se provee de la corriente de corto circuito en amperes que debe ser dispersada en el sistema de tierra.
2. *La tensión de tierra V* , equivalente a la máxima diferencia de potencial, medida en volts, existente entre el sistema de dispersión y un punto en el infinito, cuando el sistema de tierra dispersa la corriente de tierra I prevista.
3. *La resistencia de tierra R* , cuyo valor en ohms se define por medio de la relación entre tensión y corriente de tierra.
4. *El gradiente de tierra E* , que indica en volts/m la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno cuya distancia del dispersor varía en un metro.
5. *La resistencia del terreno*, que indica en 2 m el valor de la resistividad del terreno en el cual está embebido el sistema de dispersión.

Dimensionado

Por lo que se refiere al dimensionado de los sistemas de tierra, con el fin de proteger debidamente al personal del peligro de la corriente eléctrica se consideran las siguientes características:

- A) La tensión de contacto
- B) La tensión de paso

Se define como tensión de contacto al valor de la tensión que se presenta, al paso de la corriente a tierra, entre las masas metálicas conectadas a tierra y el terreno circunvecino, que puede eventualmente, en alguna forma, entrar en contacto con una persona.

La tensión de paso es la que se manifiesta al paso de la corriente de tierra, entre dos puntos del terreno distantes un paso entre sí (generalmente 1 m).

No existe en la actualidad una regla que normalice los valores de estas tensiones de contacto y de paso. Las normas en curso de elaboración toman en cuenta valores para el interior y exterior que



parecen aceptables en 125 V, con la posibilidad de elevarlo a 250 V cuando se asegure una interrupción de la corriente de falla de 0.3 segundos.

Resistencia de tierra

Este valor, que deberá ser el más bajo posible, depende de la resistividad del terreno en el cual está embebido o enterrado el sistema de dispersión; también de sus características particulares (forma geométrica, extensión, tipo de dispersor usado, etc.).

La resistividad de los terrenos, de los cuales las resistencias de los sistemas de dispersión de tierra es función directa, está representada aproximadamente en la siguiente tabla:

Tipo de tierra	Ohms/m
Arcilla, marga, fósil, mantillo húmedo	10
Arcilla, marga, fósil, mantillo seco	10^2
Arena húmeda	10^2
Arena fina y yeso seco	10^3
Basaltos	10^4
Roca compacta	10^5

La resistencia de los dispersores tubulares enterrados verticalmente, cuando están suficientemente distantes entre sí es aproximadamente igual a la relación entre la resistencia unitaria del terreno y la longitud en m:

$$R = \frac{\rho}{L}$$

Dónde:

ρ = resistividad del terreno en Ω/m .

L = longitud de dispersor en m.

Para un dispersor de tierra formado por una malla enterrada, que puede ser asimilada con cierto acercamiento a una placa plana, la resistencia de tierra total en ρ , R está expresada aproximadamente por la ecuación:

$$R = \frac{2\rho}{P}$$

Dónde:

ρ = resistividad del terreno en Ω/m .

P = longitud del perímetro de la malla en m.

Además se debe tener presente que al aumentar la profundidad de los dispersores disminuyen los valores de los gradientes en la superficie y también las tensiones de paso; en cambio aumenta la tensión de contacto entre dispersores (o partes metálicas unidas entre ellos) y el terreno circunvecino.



Con el fin de reducir la resistencia óhmica de los sistemas de dispersión de tierra, se deberán unir, cuando sea posible, todos los sistemas de dispersión de tierra de protección existentes; de esta manera se reduce la resistencia global. A tal objeto, cuando no exista una dificultad particular, es oportuno unir los sistemas de protección también aquellos de funcionamiento, para evitar que posibles circuitos de tierra se cierren, a través de líneas de menor resistencia del terreno, entre dispersores distantes, creando en las superficies peligrosas tensiones de paso.

Instalación de los dispersores en el terreno

Para cumplir con el requisito de tener una baja densidad específica de corriente en la superficie del dispersor, se necesitará lograr un buen contacto de la superficie metálica con el terreno circunvecino, empleando tierra vegetal u otras sustancias.

Sistemas subterráneos

Por razones de seguridad en sistemas subterráneos las pantallas metálicas de los conductores deben estar siempre puestas a tierra al menos en un punto con el objeto de limitar las tensiones inducidas. Parte importante en el proceso de limitar las tensiones inducidas lo constituye la resistencia de puesta a tierra, cuyos valores no deben exceder 5Ω en épocas de lluvia y de 10Ω en temporada de estiaje respectivamente, según se indica en el procedimiento para la revisión, supervisión y construcción de redes subterráneas.

Materiales

Características de los materiales que se emplean en la construcción de los sistemas de dispersión y forma de ejecutar las conexiones.

Para instalaciones particulares, es conveniente emplear en la construcción de los dispersores, metales resistentes a la corrosión. Bajo esta consideración, el cobre es, sin lugar a duda el metal más adecuado.

Se podría utilizar, sin embargo, metales ferrosos protegidos con un baño de cinc. Los perfiles las varillas y los conductores que se usen como dispersores deben tener un diámetro no inferior a 16 mm de diámetro.

Especificaciones de la malla de puesta a tierra

Los principales factores del diseño que se deberán considerar para el cálculo del sistema, son principalmente: resistividad del suelo, corriente máxima de falla de fase a tierra, calibre del conductor del sistema, tensiones de paso y toque tolerables, tensión de malla y tensión de toque del sistema, así como el valor de la resistencia a tierra.



REFERENCIAS

1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización). Diario Oficial Mexicana, 27 de julio de 2012.
2. Norma Oficial Mexicana NOM-013-2013, Eficiencia Energética Para Sistemas de Alumbrado en Vialidades. Diario Oficial Mexicana, 14 junio de 2013.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo. Diario Oficial de la Federación, 12 de diciembre de 2008.
4. Normas de Distribución: Construcción de Sistemas Subterráneos, Especificación CFE DCCSSUBT. Sexta Edición. Comisión Federal de Electricidad, febrero 2013.
5. Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. México: 2010. Disponible en: www.inegi.org.mx.
6. CONUEE. Guía Práctica para Incorporarse al Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. México: 2010. Disponible en: www.conuee.gob.mx
7. Espinoza, R. (1990). Sistemas de Distribución. México: Limusa.
8. Enríquez, G. (1990). Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión. México: Limusa.
9. Yebra, J. (2009). Sistemas Eléctricos de Distribución. México: Reverté.
10. Enríquez, G. (2005). Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales. México: Limusa.
11. Chapa, J. (2004). Manual Instalaciones de Alumbrado y Fotometría. México: Limusa.
12. Boylestad, R. (2004). Introducción al análisis de circuitos. México: Pearson Educación.
13. Maqueda, M.; Sánchez, L. (2008). Curvas de demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México. Consultado en octubre del 2013. Disponible en: <http://www.scopus.com>



14. Lee, J. (2007). *Los Conjuntos Urbanos Multifuncionales. Un nuevo tipo de barrios.*
Consultado en septiembre del 2013. Disponible en: <http://www.difusioncultural.uam.mx/>
15. Ramírez, A. (2009). *Todavía no es el momento para los LEDs en alumbrado público.*
Consultado en octubre de 2013. Disponible en: www.iluminet.com
16. Ramírez, A. (2013). *Evaluación profesional de los Sistemas de Alumbrado Público Eficiente.*
Consultado en octubre de 2013. Disponible en: www.iluminet.com