

CAPÍTULO II. ALIMENTADORES Y CIRCUITOS DERIVADOS.

2.1 Generalidades y diagramas unifilares.

La mayoría de las contingencias en las instalaciones eléctricas de centros comerciales son originadas por pequeños errores, los cuales dan origen a fallas de mayor magnitud y con seguridad se afirma que la falla fue por un mal mantenimiento o defectos de fabricación, sin embargo, cuando se analiza a detalle se observa que el error se arrastra desde el proyecto eléctrico y que por diversas razones no se atendió de manera adecuada. Entendamos que proyecto eléctrico es el que contiene planos, memorias técnico-descriptivas y diagramas correspondientes a una instalación que se ha de construir.

Cabe mencionar que el ingeniero eléctrico de proyecto debe realizar su trabajo de manera limpia y profesional, completa con todos los detalles y lista para ser usado con todo los parámetros que se especificaron. Entonces el ingeniero eléctrico constructor tiene la obligación de realizar el trabajo de la misma manera y que se encuentre dentro los límites indicados en los planos, en las especificaciones y en otros documentos del contrato.

2.1.1 Generalidades.

Cuando se realiza el trabajo de ingeniería eléctrica de un proyecto, es necesario tomar en consideración distintas circunstancias, por ejemplo desde el lugar de la instalación hasta la interacción con otros sistemas. Durante el desarrollo del trabajo es recomendable realizar diferentes reuniones con el propietario y sus empresas supervisoras, con el fin de erradicar cualquier duda que al proyectista le resulte, evitando errores que pudiesen no ser detectados.

Generalmente se comienza por una estimación de la carga eléctrica que se utilizará en la propiedad. Por otro lado se define el tipo de instalación, así como cargas especiales que requiera el sistema, estableciendo restricciones y requisitos. Una vez hecho lo anterior, se procede a la propuesta del sistema eléctrico y sus derivaciones.

Dependiendo del propietario, la distribución del sistema puede variar, algunos requieren tensión regulada, otros, servicio en emergencia, tal vez se necesite un elevador o una planta de tratamiento de agua, etc. Finalmente el propietario es quien define como se realiza la distribución, pero el proyectista tiene la facultad de orientar al propietario, para que la distribución sea correcta cumpliendo con la normatividad vigente y utilizando los conocimientos de ingeniería eléctrica, en donde radica principalmente la autenticidad del proyecto.

La información recaudada se reúne en planos eléctricos, en donde se indica de manera clara y explícita lo que se pretende realizar complementando con notas de instalación e ingeniería de detalle. La idea es que el plano “hable” por sí sólo, evitando escribir comentarios o realizar dibujos que puedan causar duda; aunque en realidad la mayoría de las veces los planos son comúnmente punto de “debate”, ya que cada ingeniero eléctrico tiene diferente criterio de diseño, sin embargo, las reuniones constantes del proyectista con el propietario y la supervisión enriquecen la información contenida, dando paso a una mayor claridad del mismo.

Después de las revisiones correspondientes se procede a la autorización de dichos planos para construcción, una vez estando en obra si se observaran detalles que requieran mayor atención se realizan los llamados planos “as-built”, los cuales contienen las modificaciones realizadas al momento (previamente autorizados).

La información que contiene el proyecto está basada en el cumplimiento de las normatividades vigentes, así como en los documentos que sirven de ayuda (como se mencionó en el capítulo I), esto quiere que decir durante el proyecto se realizó gran parte de la ingeniería eléctrica y sólo resta que la ejecución cumpla con lo indicado en los planos y que se realice con la ética que la ingeniería exige. Cabe resaltar que en muchas ocasiones el personal que trabaja en la ejecución, no sigue al pie de la letra el proyecto y se forma sus propios criterios de diseño sin consultar a los proyectistas, dando partida a errores de instalación, ya que el criterio de diseño se debe respetar. Estas modificaciones no indicadas con tiempo son el origen de las contingencias y que se manifiestan en los peligros ya mencionados.

Amen que el proyecto eléctrico es la base para una instalación adecuada, es necesario ilustrar los cálculos de los alimentadores, circuitos derivados, los cálculos de iluminación, el diseño de la subestación, el diagrama unifilar, entre otros aspectos que abarcaremos en este capítulo, ya que una buena distribución de la instalación debe tener buen aspecto y un nivel de iluminación uniforme. Además no perdamos de vista la precisión de los cálculos, de la cual depende en buena medida la seguridad y el funcionamiento correcto de la instalación, así como el costo inicial de la inversión de los gastos de operación y mantenimiento.

Para poder ilustrar lo antes dicho, asumiremos el proyecto de una tienda de autoservicios, ya que ésta presenta instalaciones eléctricas de cierta “complejidad” y que por experiencia propia, se han observado irregularidades que ponen en peligro a la instalación misma, así como a las personas, de tal manera el alcance abarcará desde el punto de acometida por parte de compañía suministradora hasta cualquier salida eléctrica que el sistema requiera, tratando de ilustrar con modelos matemáticos o con imágenes de la ejecución de obra y/o con siniestros ya suscitados y las consecuencias que traen consigo.

El proyecto eléctrico consta de varias secciones, a continuación se mencionan algunas:

- Diagrama unifilar.
- Instalación de iluminación interior y exterior.
- Instalación de receptáculos.
- Instalación de fuerza.
- Diseño de cuartos eléctricos.
- Instalación de alimentadores generales en B.T.
- Diseño de la subestación eléctrica.
- Instalación de alimentadores generales en M.T.
- Sistemas de puesta a tierra.
- Sistema de pararrayos.
- Análisis de corto circuito.

Es importante señalar que no abarcaremos al 100% la generación de las secciones, debido a que este no es el objetivo del presente trabajo, se detallarán solo aquellos aspectos que así lo requieran, utilizando herramientas como el software “Autocad” y ecuaciones matemáticas que nos simplifican lo que se quiere ilustrar.

2.1.2 Diagramas Unifilares.

Toda vez entendido lo anterior y para entrar en materia, se acostumbra presentar como primer plano (está a reserva de las prioridades del cliente), el diagrama unifilar de forma preliminar, ya que este plano contiene “toda la información” del sistema y por ende está incompleta. Se mencionan las características de la acometida, de la subestación, así como los calibres de todos los conductores, la corriente demandada y la longitud, también debe contener las características de los dispositivos de protección, como la capacidad interruptiva y el intervalo de ajuste. En ocasiones como un complemento a este plano contiene la ubicación de los equipos y el nombre que se les asigna.

Posteriormente, se comienza a realizar los planos de distribución secundaria (iluminación, receptáculos y de fuerza), después los planos de alimentadores, así como de los de sistema de puesta a tierra y de pararrayos, no obstante se debe realizar el cruce de instalaciones y entregar los planos “proletarios” si se requieren. Más adelante se realiza el estudio de corto circuito y la ingeniería de detalle.

El diagrama unifilar es el resultado de interconectar a todos los equipos de la instalación con un solo hilo considerando tanto los principios y secuencia de operación de los mismos, como los diferentes sistemas de trabajo. Recordemos que este diagrama se obtiene del estudio y necesidades de la carga en el presente y a futuro.

La figura 2.1 muestra de forma reducida el diagrama unifilar de una tienda de autoservicios, en donde se puede observar que los datos contenidos son preliminares, debido a que en este

plano se encuentra solo la distribución de los equipos y los circuitos, así como la separación de los sistemas tanto en emergencia como en servicio normal (en la mayoría de estos propietarios, la carga que se absorbe en servicio en emergencia es toda la carga demandada, sin embargo con el fin de ilustrarlo asumiremos en este trabajo que el sistema eléctrico se encuentra separado) y toda vez que se obtengan los cálculos de los circuitos alimentadores y derivados, así como el de la subestación y transformadores el diagrama se complementa.

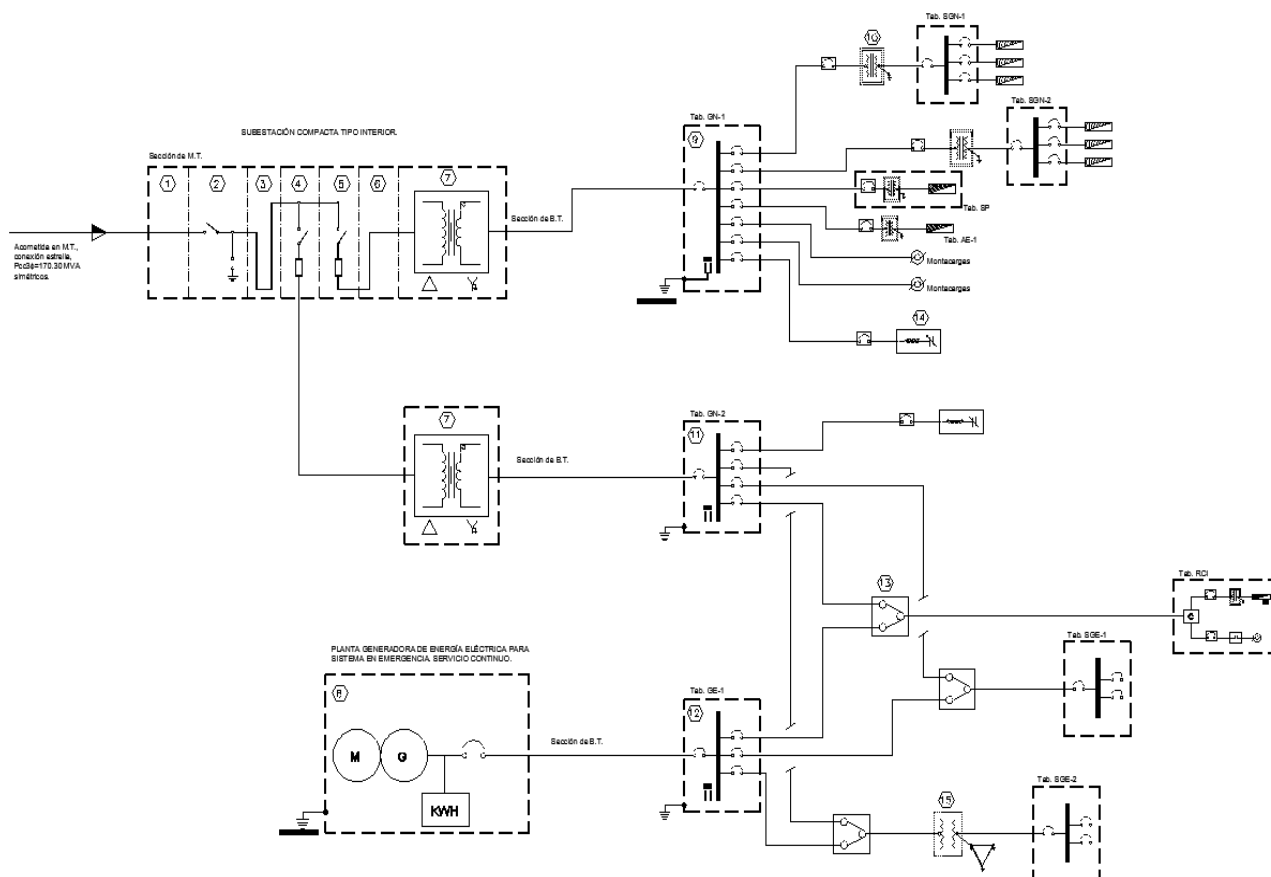


Figura 2.1 Diagrama unifilar general.

De acuerdo a lo anterior, cabe señalar que muchos proyectistas no cumplen con lo establecido en el artículo 6.2 inciso I del PEC de la NOM-001-SEDE-2005 y que finalmente puede repercutir en el desarrollo de la instalación, además hay que recordar que el diagrama unifilar es la “carta de presentación” del proyecto.

2.2 Distribución de luminarios, receptáculos y fuerza.

Cuando se realiza una distribución adecuada de los dispositivos y equipos de la instalación, tales como luminarios, receptáculos y de equipos de fuerza, la probabilidad de que suceda una contingencia eléctrica es relativamente menor, pongamos el ejemplo de una salida eléctrica que bajo cierta circunstancia no está ubicada cerca del equipo de trabajo, por tal motivo se recurre a la conexión a través de una “extensión”, lo cual ya sabemos que consecuencias trae el tener una instalación de este tipo, lo mismo sucede con la distribución de fuerza y en ocasiones con la distribución de luminarios. En suma, dicha distribución se debe realizar cumpliendo con distancias normadas y de acuerdo a guías mecánicas de equipos, además de la experiencia del propietario.

2.2.1 Distribución de luminarios.

En los centros comerciales sin duda la iluminación del local es fundamental para la exhibición adecuada de los productos. Es un tema complejo e influye de forma importante en las

ganancias que se obtengan. De tal manera que se requiere de un sistema de iluminación eficiente, pero además que el consumo de energía eléctrica no se exceda.

El contar con una buena distribución de iluminación da como resultado un ahorro de energía evitando fallas en el sistema por sobrecarga, también se tiene la ventaja que las actividades de las personas que se ubican en esa área son más productivas, esto se logra si se realiza entre otros aspectos una selección adecuada de la temperatura de color de la lámpara.

La selección del tipo de luminario está en función de las necesidades de cada área, por ejemplo, en piso de ventas el tipo de luminario es distinto respecto al área de recibo o el de oficinas, así como en perezaderos o en áreas exteriores, en las figuras 2.2 y 2.3 se muestra una aplicación.

Por otro lado se debe tomar en cuenta la iluminación en servicio de emergencia, principalmente para determinados lugares predominando las salidas del inmueble, así mismo las áreas del local en donde se requiera iluminación permanente, tales como los cuartos site o llamados también “sistemas”, área de cajas, perezaderos, oficina administrativa”, entre otros. El contar con iluminación en emergencia nos brinda ventajas que facilitan la instalación, como resultado menos contingencias.

Los sistemas de emergencia son aquéllos requeridos por la ley y clasificados como emergentes por reglamentaciones, decretos o legislaciones federales o municipales vigentes. Se utilizan, entre otras funciones principalmente en donde la interrupción de la corriente podría producir serios peligros para la seguridad de la vida humana o riesgos para la salud.

Estos sistemas según el artículo 700-9. Denominado “Alambrado del sistema de emergencia” de la NOM-001-SEDE-2005 en sus incisos a) y b) indica que todos los accesorios de los circuitos de emergencia deben marcarse y estar completamente independientes de cualquier otro alambrado y equipos. Además deben cumplir con lo señalado en el artículo 700-15. Sin embargo, muchos constructores y proyectistas no lo toman en cuenta, originando confusiones y errores de instalación.



Figura 2.2 Luminario tipo sobreponer en área de cajas.



Figura 2.3 Luminario tipo suspensión en área de recibo.

Se puede observar para el área de cajas se instaló un luminario del tipo sobreponer en tira continua, mientras que para el área de recibo se instaló un luminario tipo suspensión. Tal vez alguien indicaría que son demasiados luminarios y que se ve con mucha intensidad luminosa, sin embargo el objetivo de este tipo de iluminación, es que en esta área el personal desarrolle sus actividades con mayor ligereza, ya que las lámparas con temperatura de color fría alrededor de 4000°K provoca esta reacción, además se trata también que el cliente observe los artículos de venta y le sean más interesantes con el fin de realizar una compra. La cantidad de

iluminancia en cada área está respaldada por medio de un cálculo de iluminación ya sea con la ayuda de un software o métodos matemáticos.

Existen diferentes métodos para el cálculo de iluminación y varían según el lugar de la instalación de los luminarios, entre los más comunes podemos mencionar: Método de lúmen, punto a punto, cavidad zonal, cavidad zonal avanzada y software comercial y especializado.

Durante los proyectos eléctricos estos cálculos se realizan por medio de software de diferentes fabricantes como el indicado en la figura 2.4, sin embargo en ocasiones conviene realizarlos a través de cálculos matemáticos, de esta manera se refuerzan los conocimientos y se comprueba la veracidad de los paquetes. Para efectos de este trabajo, en los próximos párrafos echaremos mano de los procedimientos matemáticos tradicionales.

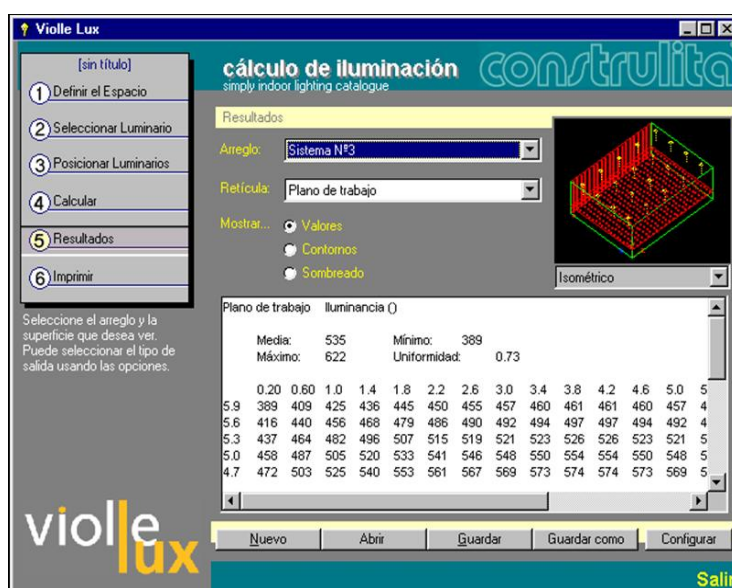


Figura 2.4 Cálculo de iluminación por medio de software.

2.2.2 Distribución de receptáculos.

Esta distribución se realiza principalmente por medio de las guías mecánicas del propietario o por la experiencia misma, sin embargo hay que tomar en cuenta lo que nos indica la normatividad vigente, ya que muchas veces por facilidad y economía se instalan de manera errónea. La NOM-001-SEDE-2005 en sus artículos 200-10 inciso b), 210-7, 210-8, 210-21 inciso b), 410 sección K, entre otros, indica todo lo necesario para la instalación correcta de los receptáculos.

La información contenida en las guías mecánicas es de vital importancia, debido a que contiene toda la información requerida para la instalación de esa área en especial, muestra las características técnicas de los dispositivos a instalar. En base a estos parámetros y con la ayuda de los catálogos de los fabricantes se procede a definir el tipo de receptáculo, por ejemplo para el área de perchederos (área que regularmente se encuentra húmeda o con presencia de agua), se requieren receptáculos con protección por falla a tierra (GFI), según lo indicado en el artículo 210-8 inciso b) si consideramos a estas áreas como cocinas, además que dependiendo de la salida del equipo a instalar se requiere un receptáculo de media vuelta, que puede ser trifásico con cuatro hilos o solo trifásico, así como de grado industrial o simplemente grado comercial, o con tapa a prueba de intemperie y de uso pesado, etc. Como se puede observar son varias características que hay que tomar en cuenta y que muchas veces las pasamos por alto. En la figura 2.5 se muestra una distribución de receptáculos de acuerdo a guía mecánica, pero que no cumple con lo antes dicho.



Figura 2.5 Distribución de receptáculos.

Hay que señalar que el receptáculo no es del tipo GFI aunque si cuenta con su tapa a prueba de intemperie, sin embargo esto no es suficiente para proteger a las personas contra una falla a tierra o evitar un incendio. El equipo mostrado es una batidora que comúnmente contiene líquidos o fluidos que pueden ocasionar una contingencia, además observando la figura 2.6 se observa que alrededor de este equipo existen tarjas o fregaderos, entonces debido a esto, según el artículo 210-8 inciso a) la distancia máxima más cercana a la que puede estar un receptáculo sin protección por falla a tierra de un fregadero es a 1.80 m, por lo cual se está violando el reglamento y se corre el peligro de electrocución.

Unos de los problemas más comunes en la distribución de receptáculos es que utilizan a las cajas tipo chalupa (consideradas como cajas de salida) como cajas de conexiones, por tal motivo se reduce el volumen disponible para la instalación de los dispositivos y las uniones de los cables a las terminales de los mismos, lo anterior tiene fundamento eléctrico además de estar indicado en la NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 370-16 inciso (b). La solución a este problema que algunos proyectistas y/o constructores realizan, es la colocar una caja de conexiones con sobre tapa, esto es en lugar de ocupar una caja chalupa se ocupa una caja de $\frac{3}{4}$ " con sobre tapa, o en su defecto ocupar cajas tipo FS cuando la instalación sea aparente, esto se realiza con el fin de obtener conexiones dentro de la caja y que el espacio disponible para el dispositivo sea suficiente y así evitar calentamiento entre los conductores o alguna falla, provocada por el espacio reducido. En la figura 2.7 se observa que desde el comienzo del proyecto se origina esta falla.



Figura 2.6 Receptáculos junto a fregaderos.



Figura 2.7 Cajas chalupa usada como caja de conexiones.

En ocasiones no basta con tener una buena distribución, se debe tomar en cuenta la limpieza del lugar de trabajo, el tener un buen cableado de los dispositivos y evitar cruzamientos excesivos de los cables de alimentación y por ningún caso utilizar los “adaptadores” para clavijas; todo esto origina fallas que pueden terminar en algo mucho mayor, como se muestra en las figuras 2.8 y 2.9.



Figura 2.8 Buena distribución, mal cableado.



Figura 2.9 Adaptadores para clavijas.

Se debe entender que la distribución de receptáculos es realizada buscando trayectorias lo menos largas posibles además evitar cortes a los muros de forma transversal, disminuyendo la cantidad de curvas establecida por norma o dejar la cantidad de conductor suficiente para las conexiones correspondientes, entre otros aspectos.

2.2.3 Distribución de fuerza.

Los sistemas de fuerza están constituidos por motores y generadores de los equipos que forman parte integral del sistema eléctrico, es decir aire acondicionado, el sistema contra incendio, el sistema hidráulico, montacargas, entre otros.

Esta distribución la realiza regularmente el encargado de cada especialidad, sin embargo la alimentación eléctrica es responsabilidad del área de ingeniería eléctrica, debido a esto es de gran interés realizar el cruzamiento con las diversas instalaciones, con esto se obtiene una visión diferente a lo previsto ya que se pueden aclarar dudas respecto a las características de cada equipo, así como conocer más sobre la especialidad.

En la ejecución de los trabajos la responsabilidad del residente eléctrico es la de coordinar con las otras instalaciones el cumplimiento de la norma, ya que muchas contingencias son a causa de incumplimientos de la misma en estas instalaciones.

De las fallas más recurrentes se pueden mencionar las siguientes:

- Dispositivo de protección mal calculado.
- Colocación de interruptor de seguridad en lugar de un desconectador sin porta fusibles.
- No se aterrizan los gabinetes metálicos.
- Alimentador mal calculado.

A continuación se muestran dos imágenes en donde se observa que no existe la puesta a tierra del gabinete metálico del elemento de protección y el cableado del mismo esta alterado, además que el dispositivo de protección está soportado directamente sobre la pared, cuando lo recomendable es que estén sobre una estructura que se encuentre lo más cerca posible al equipo.



Figura 2.10 Dispositivo de protección de equipos de aire acondicionado.

Más adelante se realizará un ejemplo de cálculo de un alimentador para sistemas de fuerza junto con su protección y canalización correspondiente e indicando los errores más comunes cotejándolos con los artículos de la norma. En el capítulo IV se abarcará la importancia de los sistemas de fuerza respecto al estudio de corto circuito, ya que los motores y generadores son la principal fuente de aportación para este fenómeno en un sistema eléctrico.

2.3 Cálculo de niveles de iluminación y densidad de potencia eléctrica de alumbrado.

Los sistemas de iluminación están formados principalmente por las siguientes partes:

- Lámpara. Elemento que produce la luz (energía radiante que puede ser percibida al ojo humano).
- Balastro. Elemento que frena a la corriente.
- Luminario. Formado por la carcasa y la canalización.
- Control. Puede ser un interruptor sencillo.
- Objeto a iluminar. Área deseada.
- Observador. Personas.
- Posición de la lámpara.

En los sistemas de iluminación existen varios aspectos que se deben considerar para evitar una mala distribución de los luminarios, entre los más importantes resaltan los siguientes:

- Deslumbramiento: Es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Se sabe que existen dos formas de deslumbramiento, el perturbador y el molesto. El primero consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste. El segundo consiste en una sensación molesta provocada porque la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa produciendo fatiga visual. Esta es la principal causa de deslumbramiento en interiores.
- Color: Se refiere a la apariencia de las lámparas que está relacionada por su temperatura de color, se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría para las que tienen un tono blanco azulado, luz neutra para las que dan luz blanca y luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

2.3.1 Cálculo de niveles de iluminación.

La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo. Hay que tener en cuenta que los valores recomendados para cada tarea y

entorno son fruto de estudios sobre valoraciones subjetivas de los usuarios (comodidad visual, agradabilidad, rendimiento visual).

Considerando que el ojo del ser humano percibe diferentes formas de energía, es necesario establecer la cantidad de iluminancia requerida, entendiendo como iluminancia a la relación entre el flujo luminoso incidente y el área iluminar. El flujo luminoso (ϕ) es la radiación luminosa que se mide en lúmenes, o sea el lumen (Lm) es el flujo luminoso de frecuencia de 540×10^{12} Hz y potencia radiante equivalente a 1/683 Watts.

Tres de las formas de energía percibidas por el ojo humano son:

- Absortancia. Lo que ojo observa muy oscuro.
- Reflectancia. Lo que percibe muy brillante.
- Transmitancia. Toda la energía que pasa directo sobre el ojo.

Toda vez que se hayan considerado estos factores y con ayuda de los catálogos de los fabricantes de lámparas y luminarios procedemos a realizar el cálculo de iluminación para determinar la cantidad y separación de luminarios a instalar. El método a ilustrar es el llamado por cavidad zonal que a continuación se describe.

Este método fue desarrollado por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) para determinar los niveles de iluminación promedio proporcionado por los luminarios dentro de un espacio cerrado. Los resultados de este método son generalmente más representativos de un caso real y puede aplicarse a cualquier sistema de iluminación en locales regulares o de formas especiales. El término “cavidad zonal” parte de la suposición de que el espacio está dividido en cavidades sobrepuestas y considera el comportamiento de la luz en cada una de éstas antes que la luz alcance el plano de trabajo.

El método de cavidad zonal involucra dos parámetros principales:

- Pérdidas.
- Coeficiente de utilización.

Dentro de las pérdidas podemos encontrar las pérdidas no recuperables y las recuperables. Las primeras se refieren a la depreciación de los lúmenes de la lámpara (DLL) o también llamado depreciación de la fuente luminosa (DFL), mientras que las segundas son la depreciación por polvo en el luminario (DPL) o simplemente depreciación del luminario (DL), así como la depreciación por suciedad del local (DPSL).

El conjunto de estos factores constituyen al llamado “factor de pérdida de luz” (FPL), en el cual los lúmenes emitidos por la lámpara disminuyen cuando ésta envejece, además, la suciedad en lámparas y luminarios reduce la eficiencia y la suciedad del local atenúa la reflectancia.

En lo que respecta al coeficiente de utilización (CU) podemos mencionar que es la relación entre la luz generada por la lámpara y la luz que finalmente incide en el plano de trabajo. En otras palabras sabemos que las lámparas de un luminario generan cierta cantidad de lúmenes, pero únicamente parte de esos lúmenes salen del luminario, el resto es absorbido por los diferentes elementos que conforman al propio luminario. La luz que escapa sufre pérdidas posteriores debidas a la geometría del local y a la reflectancia de sus superficies.

El coeficiente de utilización depende de los siguientes factores:

- Las proporciones geométricas del local (la relación de superficies verticales y superficies horizontales).
- La eficiencia del luminario y su curva de distribución luminosa.
- Las reflectancias de las superficies del local y las interreflexiones dentro de “cavidades zonales” definidas.

- Altura de cavidad del cuarto (H_{cc}): 1.55 [m] (altura del local menos altura del plano de trabajo).
2. Nivel de alumbrado mínimo mantenido en promedio (E) o el requerido por el propietario (Iluminancia: Luxes):

$$E = 300 \text{ Luxes (Lx)}$$

Este dato cuando el propietario no lo proporciona, se obtienen de tablas existentes, como lo marca el artículo 7 denominado “Niveles de Iluminación” de la NOM-025-STPS-1993 en la tabla 1, las cuales son el resultado de pruebas que se realizan a determinadas áreas de diferentes lugares.

3. Especificación del luminario considerado:

- Luminario:

Luminario de línea metalux, serie GR8 para operar lámparas fluorescentes lineales T8 de 32W, tipo empotrar, catálogo.: GR8-232A19/156-UNV-ER81-IH24, marca Cooper Lighting.

- Numero de lámparas (L): 2
- Carga conectada (Watts): $2 \times 32 = 68$ [W] (aplicado el F.B.=1.06%)
- Temperatura de color: 4100°[K]

Flujo Luminoso (L_m): Depende del luminario.

- ❖ L_m iniciales:
- ❖ L_m medios.

Para nuestro ejemplo y según la figura 2.11, son L_m iniciales de 2800 L_m .

4. Factor de pérdida de luz (FPL) o factor de mantenimiento (FM):

- Depreciación de la fuente luminosa (DFL) o depreciación de los lúmenes de la lámpara (DLL):

Este factor compensa las pérdidas de los lúmenes de salida. Si el catálogo indica que el flujo luminoso, es el flujo medio, la DFL sería 0.95, si no indica lo anterior, o que el flujo es el inicial, este valor sería DFL 0.82. Se considera que este valor es tomado cuando la lámpara haya sido operada por un tiempo igual al 70%.

Entonces tomando en cuenta lo anterior y de acuerdo al paso tres, los L_m son los iniciales y el DFL es:

$$DLL = DFL = 0.82$$

- Depreciación por polvo en el luminario (DPL) o depreciación del luminario (DL):

Compensa las pérdidas ocasionadas por la acumulación de polvo en lámparas y luminarios, depende del diseño del luminario y de las condiciones ambientales. El factor DPL se determina con exactitud mediante el empleo tablas o gráficas, sin embargo, por experiencia y regularidad el tiempo que se tarda en dar mantenimiento a los luminarios es aproximadamente 12 meses.

➤ Depreciación por suciedad del local (DPSL):

Esta consideración compensa las pérdidas sufridas por la suciedad en la reflectancia de la superficie del local y que toma como referencia la DPL.

El DPSL se obtiene de tablas hechas por distintas compañías como la IES o Westinghouse, en donde se han dividido en seis categorías de ambientes diferentes, de las cuales tres son los más importantes:

- ❖ Limpio con un factor de 0.8
- ❖ Medio con un factor de 0.75
- ❖ Sucio con un factor de 0.65

Para nuestro caso y para dar mayor holgura al cálculo utilizaremos el factor sucio con un valor de 0.65.

Finalmente, se procede a calcular el factor de mantenimiento, que no es más que el producto algebraico de:

$$\begin{aligned} FPL &= FM = DPSL \times DLL \dots\dots\dots(2.1) \\ FPL &= 0.82 \times 0.65 = 0.53 \end{aligned}$$

5. Cálculo de Lúmenes Totales:

$$\text{Lúmenes Totales (LT)} = L \times Lm \times DLL$$

$$\begin{aligned} LT &= 2 \times 2800 \times 0.82 \\ LT &= 4592 \text{ Lm} \end{aligned}$$

6. Cálculo de la relación de cavidad del local:

Este paso se obtiene a partir de la ecuación 2.2., debe hacerse notar que este valor se encuentra en un rango de 1 a 10.

$$R_{cc} = \frac{5H_{cc}(l+a)}{l \times a} \dots\dots\dots(2.2)$$

Entonces sustituyendo valores e tiene:

$$R_{cc} = \frac{5 \times 1.55(6.70 + 3.50)}{6.70 \times 3.50} = 3.37$$

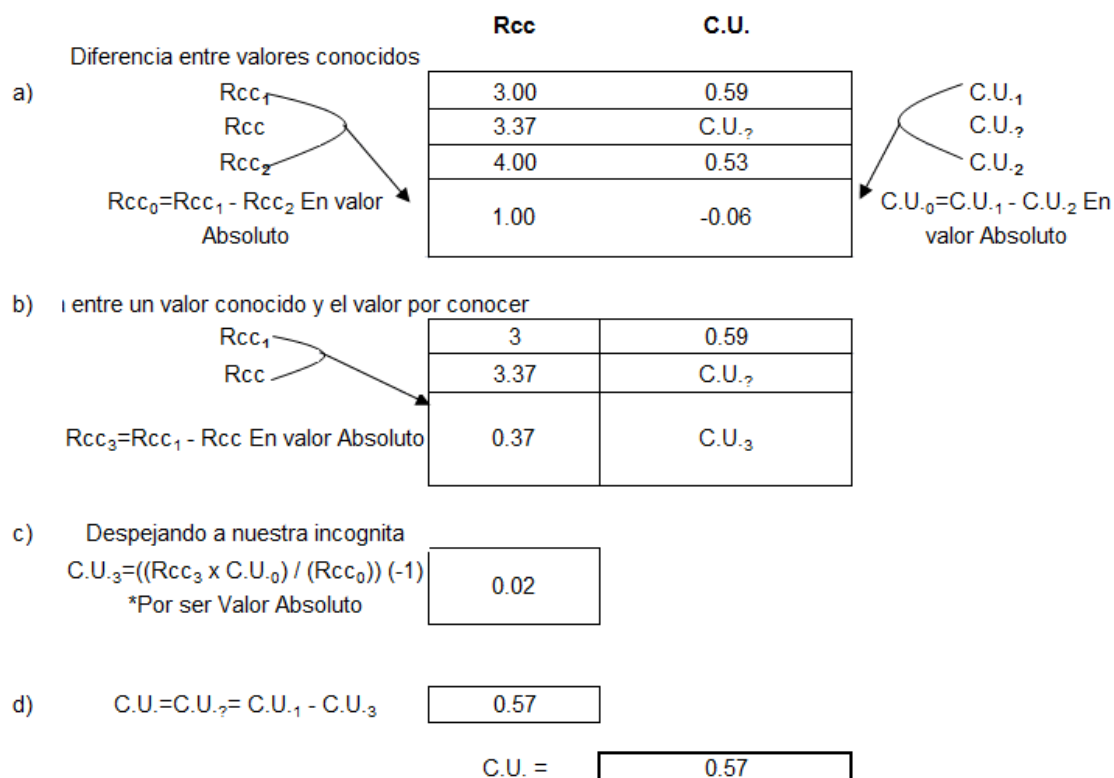
7. Obtención del coeficiente de utilización:

Como se mencionó en párrafos anteriores el CU está en función de las reflectancias efectivas, las cuales tienen los siguientes valores en por ciento, dados por experiencia y facilidad.

- Reflectancia efectiva de techo: 70 %
- Reflectancia efectiva de muros: 50 %
- Reflectancia efectiva de piso: 20 %

Estrictamente estas reflectancias pueden sufrir modificaciones de acuerdo a las siguientes posibilidades: posición del luminario, al tipo de montaje y a las pérdidas por interreflexión. Sin embargo por facilidad debido a que es un valor del 5% de ajuste, se considera despreciable.

Una vez obtenido estos valores de reflectancias además del valor de R_{cc} , obtenemos el CU de la tabla indicada en la figura 2.11 (previamente corroborado el modelo del luminario y fabricante). Cabe mencionar que regularmente el valor de R_{cc} no se encuentra en las tablas por lo que se necesita interpolar para encontrarlo. La interpolación se realiza de la siguiente manera:



8. Cálculo del área por luminario (APL):

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$APL = \frac{LT \times FPL \times CU}{E} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sustituyendo valores se observa:

$$APL = \frac{4592 \times 0.53 \times 0.57}{300} = 4.63 \left[\frac{m^2}{\text{Luminario}} \right]$$

9. Número total de luminarios (N):

En este paso se toma la decisión de cuantos luminarios se instalarán, según la geometría del lugar, tomando en consideración que siempre es más fácil cuadrar 6 luminarios que 5. Entonces N se calcula con la ecuación que se enuncia abajo.

$$N = \frac{A}{APL} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sustituyendo valores se observa que el N es igual a:

$$N = \frac{23.45}{4.63} = 5.06$$

Tomando la decisión de instalar 6 luminarios en el local.

10. Nivel de iluminancia final (E_f):

En este paso se comprueba si el luminario seleccionado es el adecuado o no, idealmente se requiere cumplir con el nivel iluminancia requerido, sin embargo por la cantidad de luminarios puede que sea menor o mayor, la decisión se tomará en función de la cuadratura y la importancia de iluminación del local.

Entonces:

$$E_f = \frac{LT \times FPL \times CU \times N}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Sustituyendo valores:

$$E_f = \frac{4592 \times 0.53 \times 0.57 \times 6}{23.45} = 355.54 \text{ [Lx]}$$

Como se observa el nivel de Iluminancia es mayor al requerido, tomando la decisión de dejarlo así por la importancia del local, ya que en esta parte se realizan funciones primordiales de la tienda de autoservicios.

Hasta aquí el método ya es correcto, pero la separación de los luminarios puede afectar en la decisión final de la instalación, de tal manera se puede realizar un par de pasos más en donde se definen la separación de los luminarios y la comprobación de la misma, aunque por experiencia y debido a que los fabricantes utilizan factores de espaciamiento diversos (que repercuten en la cantidad de luminarios obtenidos previamente), estos pasos regularmente se omiten y la decisión se deja a criterio del proyectista. Sin embargo solo para ilustrar el método completo, mostraremos el desarrollo de estos últimos pasos.

11. Espaciamiento de los luminarios:

Se considera primero el espaciamiento promedio (EP), que se calcula de la siguiente manera:

$$EP = \sqrt{APL} \dots\dots\dots (2.6)$$

Entonces con valores se tiene:

$$EP = \sqrt{4.63} = 2.15, \text{ este valor es el que se debe mantener en promedio por los luminarios.}$$

Ahora se procede a calcular el número de luminarios a lo ancho y a lo largo, es decir el número de filas y el número de columnas, esto es:

Número de filas:

$$N_{\text{filas}} = \sqrt{\left(\frac{N}{\text{largo}}\right) \times a} \quad \text{Decisión: 2}$$

$$N_{\text{filas}} = 1.77$$

Número de columnas:

$$N_{\text{columnas}} = N_{\text{filas}} \times (\text{largo}/a) \quad \text{Decisión: 3}$$

$$N_{\text{filas}} = 3.39$$

A continuación calcularemos la separación entre los luminarios, este cálculo (criterio de espaciamiento) está definido por el tipo de luminario, el factor de espaciamiento (la apertura del haz de luz) y el valor de H_{cc} .

La separación entre filas (SF) o separación longitudinal (SL) está dada por la ecuación 2.7 y la separación entre columnas (SC) o separación transversal (ST) la muestra la ecuación 2.8.

$$SF = FE_{\parallel} \times H_{cc} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$SC = FE_{\perp} \times H_{cc} \dots\dots\dots (2.8)$$

Donde:

$FE_{\parallel}$ Es el factor de espaciamiento longitudinal.

$FE_{\perp}$ Es el factor de espaciamiento transversal

Estos factores se obtienen de los datos que el fabricante proporciona; así como se observa en la figura 2.11 a su costado izquierdo.

Entonces sustituyendo valores en las ecuaciones 2.7 y 2.8 y con el valor de H_{cc} se tiene:

$$SF = 1.20 \times 1.55 = 1.86 \text{ [m]}$$

$$SC = 1.20 \times 1.55 = 1.86 \text{ [m]}$$

12. Comprobación del espaciamiento de los luminarios:

Este último paso solo es para confirmar que las separaciones cumplen con un espaciamiento uniforme y adecuado. Para esto, es necesario obtener el factor de espaciamiento máximo (FEM), entonces se puede concluir que si los valores de SF ó SC ó ambas es superior a el FEM indica que el espaciamiento no es del todo uniforme y hay que cambiar el tipo de luminario o el número de lámparas.

Para obtener el FEM se toma en cuenta la siguiente tabla:

Tipo de Luminario	Hcc (m)	FEM	Valor
INTENSIVO	> 10	1.2 H cc	1.86
SEMIINTENSIVO	6 - 10	1.5 H cc	2.33
SEMIEXTENSIVO	4 - 6	1.5 H cc	2.33
EXTENSIVO	<= 4	1.6 Hcc	2.48

Tabla 2.1 Factor de espaciamiento máximo.

De acuerdo al valor de H_{cc} , se observa que el tipo de luminario corresponde a un extensivo, y que los valores de SF y SC son menores que el valor del tipo de luminario (2.48), entonces podemos concluir que el cálculo es correcto, ya que el espaciamiento longitudinal y transversal son uniformes.

Solo para ilustrar el procedimiento realizado, en la figura 2.12 se muestra un extracto del plano arquitectónico sobre el área de oficina administrativa, indicando el sembrado de luminarios de acuerdo a lo obtenido y observado como detalle la simbología de los mismos, tanto en servicio normal como en emergencia (los sombreados).

2.3.2 Cálculo de la densidad de potencia eléctrica de alumbrado (DPEA).

La densidad de potencia eléctrica de alumbrado es un índice de la carga conectada de alumbrado por superficie de construcción, sus unidades son W/m^2 . En otras palabras, es el valor de iluminación (sin menoscabo de los niveles de iluminación requeridos) que se debe respetar cuando se realizan instalaciones eléctricas con el fin de hacer uso eficiente de la energía eléctrica, utilizando equipos y diseños de sistemas que aumenten la eficiencia energética. El valor máximo permisible lo podemos obtener del artículo 6 denominado "Especificaciones" de la NOM-007-ENER-2004 en la tabla 1, el cual es de $20 W/m^2$. Cabe

mencionar que este valor es solo es válido para áreas interiores de las tiendas de autoservicio y para las áreas exteriores restantes, así como para los estacionamientos se encuentra en los artículos 6.2 y 6.3 y la tabla 2 respectivamente.

Para realizar el cálculo de este apartado hay que tomar en cuenta que la DPEA de interiores se debe calcular por separado de la de exteriores, además tomar en cuenta lo indicado en el artículo 7 de la norma antes mencionada. La ecuación principal se muestra a continuación:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Primero se realiza este procedimiento para cada área como se observa en la figura 2.2., se obtienen promedios de las cargas y de las áreas a iluminar. Posteriormente se compara con lo permitido por la norma.

Tabla 2.2 DPEA de áreas en particular.

CUADRO DE DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE ALUMBRADO (DPEA) PISO DE VENTAS. OFICINAS.											
	Clave	Nombre local	Área		Superficie	Equipo	Potencia	Cantidad	C. conectada	Potencia	DPEA
			Ancho	Largo	(m²)		(W)(con balastro)		(W)	ajustada	W/m²
		OFICINAS FRONTALES Y POSTERIORES.									
1		Membresías	5.50	12.51	68.81	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	10	640	640	9.30
2		Farmacia	5.39	8.00	43.12	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	10	640	640	14.84
3		Pasillo fte. de sodas	4.65	1.05	4.88	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	1	64	64	13.11
9		Alcoba	3.48	2.17	7.55	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	2	128	128	16.95
10		Caja fuerte	1.78	2.17	3.86	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	1	64	64	16.57
11		Of. Admon.	5.26	3.60	18.94	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	4	256	256	13.52
12		Sistemas / conmt.	6.74	4.35	29.32	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	6	384	384	13.10
13		Gerencia	5.26	2.90	15.25	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	2	128	128	8.39
18		Sant. M. Emp.	3.98	4.54	18.07	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	5	320	320	17.71
19		Sant. H. Emp.	3.98	4.54	18.07	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	5	320	320	17.71
20		Recursos Hum.	3.94	3.68	14.50	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	2	128	128	8.83
21		Prevencion	3.94	2.90	11.43	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	2	128	128	11.20
22		IDF (posterior)	3.89	3.15	12.25	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	2	128	128	10.45
31		Capacitacion	5.26	4.67	24.56	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	4	256	256	10.42
32		Sala de Espera	5.06	3.87	19.58	Luminario fluorescente 2x32V. de 0.30x1.22m. con controlente refractogrid cat. F-8124-232-El Mca. Holophane	64	3	192	192	9.80
TOTAL			136.85	148.46	641.18				7718.00	7718.00	12.04
								DPEA MAXIMO PERMITIDO	20 W/m²	max.	

Después de realizar este procedimiento para varias áreas determinadas, se procede a calcular la DPEA total de la tienda, quedando una tabla como la indicada a continuación.

	C. conectada	DPEA
	(W)	W/m²
CARGA TOTAL	100,498.00	
AREA TOTAL	8,838.53	11.37
DPEA MAXIMO PERMITIDO		20 W/m²

Tabla 2.3 DPEA total.

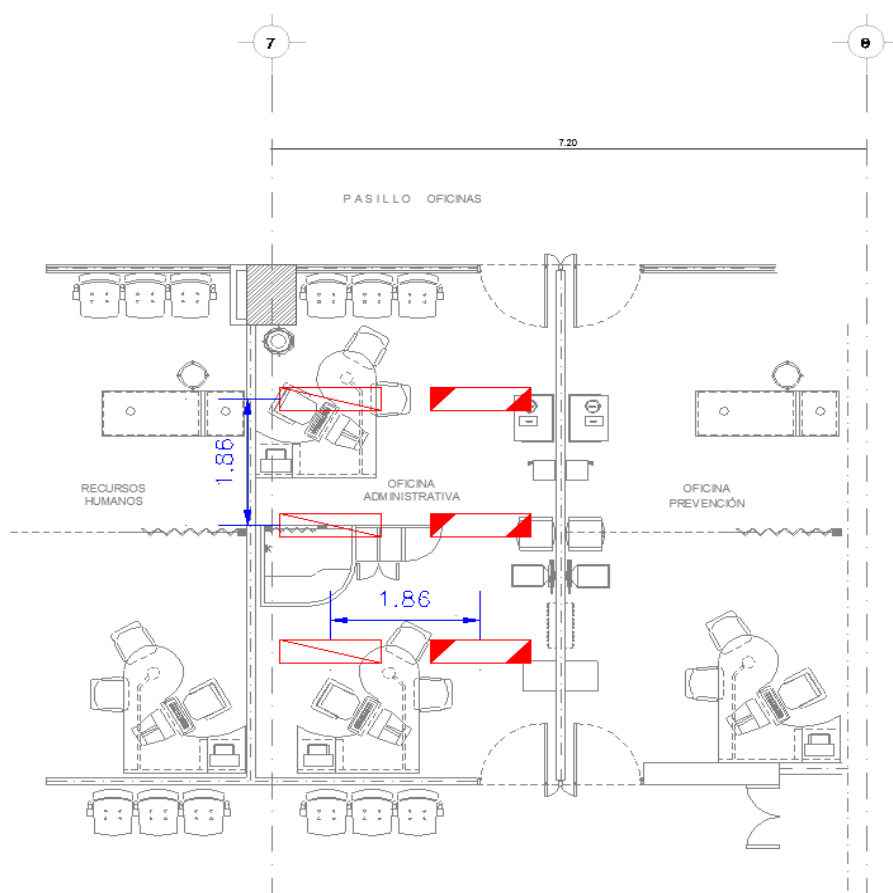


Figura 2.12 Sembrado de luminarios.

Finalmente podemos concluir que el cálculo de niveles de iluminación y la DPEA cumplen con lo establecido por las normas vigentes, sólo resta que en la ejecución de obra se tenga especial cuidado en instalar los luminarios, para evitar contingencias eléctricas.

2.4 Cálculo de circuitos derivados.

El cálculo de circuitos derivados puede resultar muy sencillo, sin embargo he comprobado que muchos proyectistas cometen errores que termina por ocasionar una contingencia eléctrica. Estos errores son el resultado de no contemplar diferentes parámetros que son relevantes en el diseño, en ocasiones no se toma en cuenta la temperatura del lugar de instalación o el factor agrupamiento, o tal vez el calibre del conductor de puesta a tierra no se compenso por caída de tensión, en fin suele suceder.

Entendamos mejor que es un circuito derivado, según lo indicado en la NOM-001-SEDE-2005, un circuito derivado *“es aquel conductor o conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobrecorriente que protege a ese circuito hasta la o las salidas finales de utilización”*. En otras palabras un circuito derivado es la parte final de la instalación eléctrica para alimentar a los aparatos receptores. Un circuito derivado tiene la finalidad de dividir a la carga total en diferentes partes procurando con esto en instantes de falla la no interrupción de todo el sistema eléctrico.

Regularmente el cálculo de circuitos derivados (hablando de B.T.) se realiza por diferentes métodos, sin embargo en este trabajo solo ilustraremos los métodos por ampacidad o capacidad de corriente y la comprobación por el método de caída de tensión.

Como se mencionó anteriormente, estamos asumiendo el proyecto de una tienda de autoservicio, sin embargo para los cálculos de aquí en adelante y de los próximos capítulos se necesitan diversos parámetros de diseño que repercuten en la instalación. A continuación se enlistan los más importantes:

- Lugar de instalación: Municipio de Guadalupe, N.L., México.
- Tensión de operación:
 - ❖ En M.T. = 13.2 kV
 - ❖ En B.T. = 0.48/0.22-0.127 kV
- Temperatura ambiente: 38°C
- Potencia de corto circuito (Dato de CFE):
 - ❖ Trifásica = 179 MVA
 - ❖ Monofásica = 171 MVA
- Tiempo de duración de la falla: 0.133 [s] (8 ciclos, esto es, $8/60 = 0.1333$).
- Altura sobre el nivel del mar: 560 m.s.n.m.
- Resistividad del terreno: $\rho_{t_{promedio}} = 27.76 \left[\frac{\Omega}{m} \right]$
- Relación X/R: 10

Toda vez sabidos estos parámetros, procederemos a realizar el cálculo de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005.



Figura 2.13 Tuberías de circuitos derivados.

2.4.1 Cálculo de circuitos derivados por medio de ampacidad y comprobación por caída de tensión.

- Circuito derivado de alumbrado:
 - ❖ Datos:
 - a. Carga instalada: $P = 1.180$ [kW] ó $S = 1.770 / 0.95 = 1.242$ [kVA]
 - b. Clave del circuito: A1.
 - c. Voltaje de operación: 127 [V].
 - d. Numero de fases-hilos: 1-2H+PT.
 - e. Frecuencia de operación: 60 Hz.
 - f. Caída de tensión máxima: 3.00 % (art. 210-19, (a)-Nota 4).

- g. Factor de potencia: 0.95 (considerando luminarios con balastro de alto F.P.).
- h. Temperatura ambiente: 38°C.
- i. Tipo de aislamiento: THW-LS.
- j. Temperatura del aislamiento: 60°C ó 75°C (art. 110-14, (c)-1).
- k. Longitud: 30 [m].
- l. Canalización: Tubo (conduit) metálico tipo ligero.

❖ Corriente nominal I_n :

En base al art. 220-3 y considerando a la carga de alumbrado como carga continua tenemos que:

$$I_n = \frac{P}{V_{F-N} \times F.P.} = \frac{S}{V_{F-N}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Entonces:

$$I_n = \frac{1180}{127 \times 0.95} = 9.78 [A], \text{ pero como es carga continua (art. 220-3 (a)):$$

$$I_{cc} = I_n \times 1.25 \dots\dots\dots (2.11)$$

Donde I_{cc} es la corriente por carga continua.

Por lo que:

$$I_{cc} = 9.78 \times 1.25 = 12.22 [A] \dots\dots\dots (2.12)$$

❖ Selección del dispositivo de protección:

Con este valor de corriente se obtiene la capacidad del dispositivo de protección (art. 240-6, (a)):

El dispositivo será: 1P x 15 [A]

❖ Selección del conductor por ampacidad:

De acuerdo a la tab. 310-16, tentativamente (falta aplicar factores de corrección) el calibre del conductor será: 12 AWG.

Se observa que este calibre es tomado de la columna de 60°C (art. 110-14, (c)-1) de la tabla, debido a que la I_n es menor a 100 A.

Considerando los factores de corrección por temperatura del lugar y por la condición de instalación (más de un circuito dentro de la canalización), se tiene que:

- a. Factor de corrección por temperatura (f.t.): 0.82 (tab. 310-16, condición 36-40°C). Según los datos indicados.
- b. Factor de corrección por agrupamiento (f.a.): 0.80 (tab. 310-15, (g)). Asumimos que en la misma canalización se instalarán tres circuitos monofásicos de la misma carga.

Con estos factores y la ampacidad del conductor tomada de la tab. 310-16 se tiene:

$$I_{corr} = I_c \times f.t. \times f.a [A] \dots\dots\dots (2.13)$$

En donde:

I_{corr} Es la corriente corregida.

I_c Es la corriente del conductor (tab. 310-16).

Sustituyendo valores en 2.13 nos queda:

$$I_{\text{corr}} = 25 \times 0.82 \times 0.80 = 16.4 \text{ [A]}$$

Como este valor es mayor que I_{cc} , entonces, el calibre seleccionado por ampacidad es:

$$12 \text{ AWG } (3.31 \text{ mm}^2)$$

❖ Selección del conductor por caída de tensión:

Recordemos que la longitud del conductor es directamente proporcional a la resistencia del mismo, entonces debido a esto la caída de tensión también es proporcional, de tal manera que si la longitud es mayor la caída de tensión es mayor. Si la caída de tensión crece, los conductores y otros elementos eléctricos se sobrecalentarán.

Existen dos ecuaciones distintas para el cálculo de la caída de tensión, la que considera a la resistencia (también llamada simplificada) y la ecuación que ocupa la impedancia del conductor. Se recomienda utilizar la segunda ecuación porque se considera la más exacta. A continuación se muestran las ecuaciones de cálculo para los diferentes sistemas en que se puede trabajar.

a. Sistema monofásico 2 hilos (1 ϕ - 2H):

$$\%e = \frac{2 \times L \times I_n \times 100 \times (R_{\cos\phi} + X_{\text{sen}\phi})}{V_{f-n} \times 1000} ; \dots\dots\dots (2.14)$$

b. Sistema a dos fases 2 hilos (2 ϕ - 2H):

$$\%e = \frac{2 \times L \times I_n \times 100 \times (R_{\cos\phi} + X_{\text{sen}\phi})}{V_{L-L} \times 1000} ; \dots\dots\dots (2.15)$$

c. Sistema a dos fases 2 hilos (2 ϕ - 3H):

$$\%e = \frac{2 \times L \times I_n \times 100 \times (R_{\cos\phi} + X_{\text{sen}\phi})}{V_{f-n} \times 1000} ; \dots\dots\dots (2.16)$$

d. Sistema trifásico 3 ó 4 hilos (3 ϕ - 3H ó 3 ϕ - 4H):

$$\%e = \frac{\sqrt{3} \times L \times I_n \times 100 \times (R_{\cos\phi} + X_{\text{sen}\phi})}{V_{L-L} \times 1000} ; \dots\dots\dots (2.17)$$

En todos los casos anteriores se necesitan los valores de la resistencia y reactancia de los conductores, sin embargo para facilidad de cálculos en esta memoria, utilizaremos la impedancia del conductor (calculado por ampacidad), éste se obtiene de tablas de características de conductores, tal como la que se encuentra en el manual técnico de instalaciones eléctricas en B.T. de Condumex, en el capítulo "Normatividad y diseño". Además se toma en cuenta que la corriente a utilizar es la I_n . Cabe mencionar que, la impedancia se encuentra en [Ohm/Km] y este valor es para un solo cable, si el circuito tiene conductores en paralelo se tiene que dividir la impedancia entre el número de conductores), también este valor depende el tipo de canalización en donde se instalará el conductor.

Entonces el calibre 12 tiene una impedancia de: $Z = 6.57 \text{ [Ohm/km]}$ para una canalización metálica galvanizada.

Sustituyendo valores en la ecuación 2.14 nos queda:

$$\%e = \frac{2 \times 30 \times 9.78 \times 100 \times 6.57}{127 \times 1000}$$

$$\%e = 3.03 \%$$

Se observa que este valor no cumple con el art. 210-19 Nota 4 de la NOM-001-SEDE-2005, por tal motivo es necesario realizar el cálculo con un calibre mayor, por ejemplo calibre 10 AWG, esto es:

$$\%e = \frac{2 \times 30 \times 9.78 \times 100 \times 3.94}{127 \times 1000}$$

$$\%e = 1.82 \%$$

Como este valor es menor al 3%, el calibre seleccionado por caída de tensión es:

$$10 \text{ AWG } (5.26 \text{ mm}^2)$$

❖ Selección del conductor de puesta a tierra:

Tomando en cuenta la capacidad del dispositivo de protección (tab. 250-95), el conductor sería: 14 AWG (2.08 mm²), sin embargo hay que hacer notar que el cálculo del conductor de fase y neutro cambio de calibre 12 a 10, debido a la caída de tensión, por tal motivo se necesita “compensar” el calibre del conductor de puesta a tierra (art. 250-95), esto es:

$$F_{ccpt} = \frac{\text{conductor por caída de tensión en mm}^2 \text{ (S)}}{\text{conductor por ampacidad en mm}^2 \text{ (S)}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Donde F_{ccpt} es el factor de compensación del conductor de puesta a tierra.

$$CPT = \text{conductor según la protección en mm}^2 \times F_{ccpt} \dots\dots\dots (2.19)$$

Entonces sustituyendo valores en 2.18 y 2.19 respectivamente nos queda:

$$F_{ccpt} = \frac{5.26 \text{ mm}^2}{3.31 \text{ mm}^2} = 1.58$$

$$CPT = 1.58 \times 2.08 = 3.21 \text{ [mm}^2 \text{]}$$

Donde CPT es el conductor de puesta a tierra por compensación.

Con este valor nos referimos a la tab. 250-95 y observamos que el calibre del conductor de puesta a tierra es:

$$12 \text{ AWG } (3.31 \text{ mm}^2)$$

❖ Selección final de los conductores:

Calibre de los conductores fase y neutro: 10 AWG (5.26 mm²).

Calibre del conductor de puesta a tierra (desnudo): 12 AWG (3.31 mm²).

❖ Selección de la canalización:

El tipo de canalización afectará en el calibre del conductor, ya que no es lo mismo canalizar los conductores en ducto cuadrado abisagrado que en tubo, por mencionar algún ejemplo.

Debido a que ya se determinó que la canalización será tubo (conduit) metálico tipo ligero, procedemos a calcular su diámetro.

Tomando en consideración lo indicado en el artículo 348-7, sabemos que:

6-10 (6-15.7 mm²) fase y neutro. Conductores con aislamiento (tab. 10-5). Recordar que son tres circuitos monofásicos en esta canalización.

1-12 (1-3.31 mm²) conductor de puesta a tierra. Conductor desnudo (tab. 10-8).

Ahora se realiza la suma de las áreas transversales de todos los conductores que se instalarán en la canalización, entonces:

Área total a ocupar en la canalización: 105.9 mm²

Con este valor se observa que la canalización correspondiente es de ¾" o 21 mm, con un factor de relleno del 40% (tab. 10-4).

❖ Presentación por circuito derivado:

2-10 AWG (2-5.26 mm²)
 1-12d AWG (1-3.31 mm²)
 T-21 mm (T- ¾"). Tubo (Conduit) metálico tipo ligero.
 1P-15 A.

➤ Circuito derivado de receptáculos:

El procedimiento para este tipo de circuitos derivados es el mismo que el anterior, con la diferencia en la corriente nominal, la selección del dispositivo de protección y en el conductor de puesta a tierra.

Si bien la NOM-001-SEDE-2005 indica que los receptáculos no se consideran carga continua pero si te restringe en cuanto a la capacidad del circuito derivado (210-21, (b)-2), entonces la I_n se calcula con la ecuación 2.10.

Al resultado se le aplican los factores de corrección por temperatura y por agrupamiento como se indica en la ecuación 2.13, pero con la salvedad que la comparación entre la I_{corr} y la I_{cc} , es que esta última no es en sí una corriente de carga continua sino simplemente la corriente nominal, de tal manera que la comparación sería:

$$I_{corr} > I_n \dots \dots \dots (2.20)$$

Para la selección del dispositivo de protección se utiliza la ecuación siguiente:

$$I_{F.S.} = I_n \times 1.25 \dots \dots \dots (2.21)$$

La ecuación anterior solo es para dar un factor de proyección de crecimiento a futuro de la carga del circuito derivado, este factor recibe el nombre de factor de seguridad F.S.

La otra diferencia de este cálculo es en la selección del conductor de puesta a tierra, en los circuitos derivados comúnmente se llega a instalar sistemas de energía ininterrumpible (UPS por sus siglas en inglés), por tal motivo se requiere un conductor de puesta a tierra con aislamiento y de color verde continuo o franjas amarillas (210-5 (b)) adicional al conductor de puesta a tierra desnudo, además este conductor estrictamente debe ser del mismo calibre que los conductores portadores de corriente, pero comúnmente se coloca del mismo calibre que el conductor de puesta a tierra desnudo.

Finalmente la presentación del circuito derivado queda:

2-10 AWG (2-5.26 mm²)
 1-12d AWG (1-3.31 mm²)
 1-10ta AWG (1-5.26 mm²)
 T-21 mm (T- ¾"). Tubo (Conduit) metálico tipo ligero.
 1P-15 A.

También es importante señalar que en el cálculo del diámetro de la tubería se tiene que tomar en cuenta el área transversal del conductor de puesta a tierra aislado, o sea 15.7 mm².

➤ Circuito derivado de fuerza:

De la misma manera que el cálculo de los circuitos derivados de alumbrado se realiza este procedimiento, con la salvedad en la corriente nominal y en la selección del dispositivo de protección, esto es:

Aquí la corriente nominal del circuito derivado debe contemplar lo siguiente: "si el circuito suministra energía solo a cargas operados por motores, se debe aplicar lo indicado en la sección 430 de la NOM-001-SEDE-2005, o bien si suministra energía únicamente a equipos de A.A. o de refrigeración debe aplicarse lo indicado en la sección 440; pero también debe contemplar que si el circuito derivado suministra energía a cargas conjuntas con motores, la carga total calculada debe ser el 125% de la carga del motor más grande, más la suma de todas las otras cargas" (art. 210-22 (a)).

Entonces la I_n se expresa con la siguiente ecuación:

$$I_n = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 1.25) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Donde:

I_n Es la corriente nominal del circuito.

$I_{pc \text{ motor mayor}}$ Es la corriente a plena carga del motor mayor.

$\sum I_{pc \text{ otros motores}}$ Es la sumatoria de las corrientes a plena carga de los demás motores.

Cabe mencionar que, cuando se trate de un solo motor la I_n es el resultado de la multiplicación de la I_{pc} del motor por el 125%. Lo anterior tiene justificación en los artículos 430-22 (a) y 430-24 y Considerando que la I_{pc} es obtenida de las tablas 430-148 ó 430-149 ó 430-150, dependiendo del sistema en que se trabaja.

En lo referente a la protección eléctrica del circuito, se debe considerar la protección contra sobrecarga y contra corto circuito y falla a tierra. Muchas veces se comete el error de calcular estas protecciones como si fuera única, además de que el cálculo se realiza como el de los circuitos derivados anteriores (alumbrado y/o receptáculos).

Es importante señalar que para la protección contra sobrecarga es por medio de un elemento térmico sensible a la corriente provocada por este fenómeno (art. 430-31) y la protección contra corto circuito es en base a dispositivos destinados para este fin, tales como fusible o ITM (430-51 y 430-52).

La protección contra corto circuito y falla a tierra se obtiene de la siguiente manera:

Para un solo motor la corriente del dispositivo de protección es:

$$I_{DP} = I_{pc \text{ motor}} \times 250 \% \dots\dots\dots (2.23)$$

Observemos que se seleccionó el 250% de la corriente a plena carga (tab.430-152), debido al tipo de motor (por ejemplo: motor jaula de ardilla) y a la restricción que nos indica que "la

protección del circuito derivado contra corto circuito y falla a tierra debe ser capaz de soportar la corriente eléctrica de arranque del motor” (art. 430-52 (b)). El interruptor automático de tiempo inverso deja pasar ciertos ciclos de la onda de falla sin operar, ya que si bien se sabe que algunos motores consumen en el arranque hasta siete veces su corriente nominal.

En la práctica y de acuerdo a fabricantes de interruptores termomagnéticos como Square D, podemos observar que el valor del 250% es sustituido por sólo el 200%, ya que para corrientes grandes, el valor de 250% incrementa en demasía el valor de la corriente, por lo que ya no es tan factible en lo referente al costo del producto, además que respecto a la ampacidad de los conductores, la del dispositivo de protección es mayor a la del conductor, entonces la ecuación 2.23 se puede reescribir como:

$$I_{DP} = I_{pc \text{ motor}} \times 200 \% \dots\dots\dots (2.24)$$

La protección contra sobrecarga regularmente se encuentra en los arrancadores, que por conveniencia se localizan lo más cerca posible del motor. Tomando como ejemplo un motor con capacidad mayor a 1 CP y de servicio continuo, además que tenga indicado el factor de servicio menor a 1.15 y que no tenga problemas con el incremento de temperatura arriba de los 40°C (art. 430-32 (a)-1), entonces la capacidad nominal máxima del dispositivo de protección está dada por la ecuación que a continuación se menciona:

$$I_{DP} = I_{pc \text{ motor}} \times 115 \% \dots\dots\dots (2.25)$$

Cabe mencionar que algunos proyectistas utilizan un dispositivo que “cumple” con lo indicado en los artículos antes mencionados, esto es utilizan un dispositivo contra sobrecorriente de doble elemento. Esto ha sido punto de discusión ya que su principal fundamento se encuentra en la tabla 430-152 en lo referente a los fusibles.

Toda vez hecho lo anterior, solo resta obtener el conductor de puesta a tierra, considerando la capacidad del dispositivo de protección contra corto circuito y falla a tierra (art. 250-95).

2.5 Cálculo de Circuitos Alimentadores.

Según la NOM-001-SEDE-2005 un alimentador se define como “todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separadamente u otra fuente de alimentación y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado”.



Figura 2.14 Alimentador principal en B.T.

Este cálculo es muy importante y de él depende la seguridad de un área en particular o tal vez del sistema en general. Se debe calcular, como indica la norma y no escatimar en costos sobre el calibre y tipo de conductor. Si se intenta ahorrar cierta cantidad de dinero en el calibre del conductor al inicio de la obra, no se compara con las pérdidas que un incendio puede provocar.

Los errores más comunes que se cometen son:

- En el proyecto no se consideró los factores de demanda correctos.
- La carga de aire acondicionado no se consideró como carga continua.
- El porcentaje de desbalance entre las fases es mayor al recomendado.
- Calibres mal calculados por cambio de material (de Cu a Al).
- La canalización incorrecta.

Dentro de los circuitos alimentadores más comunes en una instalación eléctrica son los que alimentan a tableros, transformadores, plantas de emergencia, ups, conjunto de motores, entre otros. Sin embargo, el de mayor presencia es el alimentador a tableros (aunque el alimentador de conjunto de motores también es relevante), por lo tanto a continuación ilustraremos de la misma manera que los circuitos derivados, el procedimiento de cálculo.

➤ Datos:

a. Carga instalada:

- i. Alumbrado: 112,584 [VA].
- ii. Receptáculos y otras cargas pequeñas. 65,878 [VA].
- iii. Fuerza: 57,220 [VA].

b. Clave del circuito: TGN.

c. Voltaje de operación: 480 [V].

d. Numero de fases-hilos: 3-4H+PT.

e. Frecuencia de operación: 60 Hz.

f. Caída de tensión máxima: 2.00 % (art. 215-2 (b)-Nota 1).

g. Factor de potencia: 0.90.

h. Temperatura ambiente: 38°C.

i. Tipo de Aislamiento: THW-LS.

j. Temperatura del aislamiento: 60°C ó 75°C (art. 110-14, c-1).

k. Longitud: 10 [m].

l. Canalización: Soporte tipo charola (tipo escalera) para cables (art. 318).

➤ Corriente nominal I_n :

Recordemos que:

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times F.P.} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Entonces:

$$I_n = \left[(I_n \text{ carga continua} + I_{pc \text{ motor mayor}}) \times 1.25 \right] + \sum_{pc \text{ otros motores}} + \sum_{I_n \text{ cargas no continuas}} \dots\dots\dots (2.27)$$

(art. 220-10, (b))

De los datos proporcionados podemos observar que la carga de alumbrado se considera carga continua y la carga de receptáculos y otras cargas pequeñas son consideradas como cargas no continuas, así mismo la carga de fuerza se divide en varios motores resaltando el de mayor capacidad de 25 CP (18.7 kW), entonces haciendo uso de la ecuación 2.26 se tiene que:

❖ Alumbrado:

$$I_{3\phi} = \frac{112,584}{1.732 \times 480}$$

$$I_{3\phi} = 135.42 \text{ [A]}$$

❖ Receptáculos y otras cargas pequeñas:

$$I_{3\phi} = \frac{65878}{1.732 \times 480}$$

$$I_{3\phi} = 79.24 \text{ [A]}$$

❖ Fuerza:

$I_{pc \text{ motor mayor}} = 34 \text{ [A]}$, se observa que se tomo el valor de la columna de 460 V de la tabla 430-150, ya que el voltaje del sistema es 480 V, pero según 110-4, el valor de 460 V es una tensión eléctrica nominal de utilización para equipos y se utilizan como valores preferentes.

$I_{pc \text{ otrosmotores}} = 62.96 \text{ [A]}$, son valores a plena carga, es decir a F.P.=1.

Sustituyendo estos valores en 2.27 nos queda:

$$I_n = [(34 + 135.42) \times 1.25] + 62.96 + 79.24$$

$$I_n = 353.97 \text{ [A]}$$

Si el alimentador fuera solo un tablero de fuerza exclusivamente (conjunto de motores), o de fuerza y otras cargas pequeñas, la ecuación para obtener la I_n se obtiene de la siguiente manera:

$$I_n = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 1.25) + \sum I_{pc \text{ otrosmotores}} + \sum I_{n \text{ otrascargas}} \dots\dots\dots (2.28)$$

(art. 430-24)

Cabe mencionar que en ocasiones un alimentador polifásico (más de una fase) suministra energía a un grupo de motores monofásicos, en consecuencia la ecuación anterior se modifica y nos queda:

$$I_n = \frac{[(I_{pc \text{ motor mayor}} \times 1.25) + \sum I_{pc \text{ otrosmotores}} + \sum I_{n \text{ otrascargas}}]}{\text{No. de fases}} \dots\dots\dots (2.29)$$

El resultado anterior se refiere a la carga eléctrica total conectada o instalada en el local, sin embargo no se utiliza toda esta carga al mismo tiempo, por tal motivo es necesario que el alimentador soporte únicamente la carga que se demande, esto es aplicar factores demanda a la carga total instalada, de lo contrario el conductor está “sobrado”.

Pero verdaderamente esta decisión es tomada por el mismo proyectista con la autorización del propietario, si es que en base a estudios previos se obtiene un valor aproximado de demanda máxima, el cual es proporcionado al proyectista, quien obtiene el nuevo calibre del conductor. Estrictamente esto debe ser así, pero la realidad es que muchos proyectistas y mismos propietarios no se quieren arriesgar y optan por dejar el calibre del conductor obtenido por la carga total conectada y en otras situaciones se llega a estimar un valor de factor de demanda, pero lo correcto es realizarlo de acuerdo a lo indicado por la NOM-001-SEDE-2005.

En el artículo 100 se indica textualmente “*relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o a una parte del mismo*”.

Entonces, se puede expresar que:

$$FD = \frac{DM}{CTC} \times 100\% \dots\dots\dots (2.30)$$

Para obtener la demanda máxima del sistema, tomaremos lo indicado en los artículos 220-11, 220-13 y 220-14, entonces podemos decir que:

Alumbrado todo va al 100%, para fuerza queda igual que en la carga total instalada y para receptáculos solo los primeros 10,000 VA al 100% y a partir de 10,001 VA al 50%, esto es:
Carga demandada de receptáculos = 10,000 + (55,878 x 0.5) = 37,939 [VA].

Finalmente la demanda máxima es:

$$DM = 212,418 \text{ [VA]}$$

La carga total conectada es:

$$\begin{aligned} CTC &= (112,584 \times 1.25) + (65,878) + [(57,220 - 18,700) + (18,700 \times 1.25)] \\ CTC &= 140,730 + 65,878 + 61,895 \\ CTC &= 268,503 \text{ [VA]} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores en 2.30 nos queda:

$$\begin{aligned} FD &= \frac{212,418}{268,503} \times 100\% \\ FD &= 79.11\% \end{aligned}$$

En otras palabras el alimentador debe soportar únicamente:

$$\begin{aligned} I_{FD} &= \frac{212,418}{1.732 \times 480} \\ I_{FD} &= 255.50 \text{ [A]} \end{aligned}$$

➤ Selección del dispositivo de protección:

Cuando el alimentador es para cargas de alumbrado, receptáculos y de fuerza, el procedimiento para obtener la capacidad del dispositivo de protección es similar al de los circuitos derivados de alumbrado y/o receptáculos, pero cuando el alimentador es puramente de fuerza o fuerza y otras cargas pequeñas la corriente que se debe considerar para la obtención de la protección es como se indica en las ecuaciones 2.31 y 2.32 respectivamente (art. 430-62 y 430-63):

$$I_{DP} = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 250\%) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$I_{DP} = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 250\%) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} + \sum I_{n \text{ otras cargas}} \dots\dots\dots (2.32)$$

Las ecuaciones anteriores se deben modificar en cuanto al valor del 250% por 200%, de acuerdo a lo comentado anteriormente (último párrafo de la página 41), por lo que éstas quedan:

$$I_{DP} = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 200\%) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$I_{DP} = (I_{pc \text{ motor mayor}} \times 200\%) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} + \sum I_{n \text{ otras cargas}} \dots\dots\dots (2.34)$$

En ocasiones, se cuenta con las protecciones de los circuitos del circuito de fuerza, entonces las ecuaciones anteriores quedarían de la siguiente manera:

$$I_{DP} = (\text{Capacidad}_{\text{dispositivo mayor}} + \sum I_{pc \text{ otros motores}}) \dots \dots \dots (2.33')$$

$$I_{DP} = (\text{Capacidad}_{\text{dispositivo mayor}}) + \sum I_{pc \text{ otros motores}} + \sum I_{n \text{ otras cargas}} \dots \dots \dots (2.34')$$

Una vez terminados los cálculos anteriores, se realizan el mismo procedimiento utilizado en los circuitos derivados para encontrar el dispositivo de protección adecuado (art. 240-6, (a)), considerando la corriente de la carga total conectada.

El dispositivo será: 3P x 400 [A]

➤ Selección del conductor:

El procedimiento es similar al anterior (por ampacidad y por caída de tensión) solo que la tabla a utilizar es la A-310-2 del apéndice A de la NOM-001-SEDE-2005 (art. 318-11, (b)-4), debido a la configuración en triplex que ocuparemos, además que no se aplican factores de corrección por agrupamiento a la corriente nominal obtenida anteriormente ($I_n = 357.93$ [A]), solo los factores de corrección por temperatura si es necesario (art. 318-11, (b)).

❖ Selección por ampacidad:

De acuerdo a este valor de corriente y a la temperatura ambiente (36°C), encontramos que requerimos un calibre mínimo de 300 kCM, el cual tiene por ampacidad 359 [A], sin embargo este valor es casi el mismo que el de la I_n , por lo tanto es recomendable tomar un calibre mayor, es decir:

3-350 kCM ($3-177 \text{ mm}^2$)

❖ Selección por caída de tensión:

La ecuación a utilizar es la número 2.17, pero como la longitud es muy pequeña se considera despreciable y por lo tanto no existe caída de tensión. Una longitud considerable para que exista caída de tensión es después de los 25 m.

Cabe recordar que los circuitos deben estar protegidos contra sobrecorriente por medio de un dispositivo, cuya capacidad nominal no exceda a la capacidad de conducción de corriente del circuito que protege, si esto sucede, el alimentador debe cambiarse por un conductor de igual o mayor capacidad de conducción de corriente de la protección.

➤ Selección del conductor de puesta a tierra:

1-2d AWG ($1-33.6 \text{ mm}^2$) (tab. 250-95).

➤ Selección final de los conductores:

Calibre de los conductores fases: 350 kCM (177 mm^2), por ser un sistema 3 ϕ - 3H.

Calibre del conductor de puesta a tierra (desnudo): 2 AWG (33.6 mm^2).

➤ Selección de la canalización:

A diferencia del cálculo de tuberías, la selección del soporte tipo charola se basa en el acomodo y el diámetro aproximado de los conductores. Como se mencionó párrafos arriba, para nuestro ejemplo usaremos la configuración triplex guardando una separación entre configuraciones de conductores de no menos a 2.15 veces el diámetro del conductor mayor (art. 318-11, (b)-4), entonces el acomodo de los conductores y tamaño del soporte tipo charola se muestra en la figura 2.15.

El soporte tipo charola será: charola tipo escalera de 6" de ancho por 3.00 m de longitud y peralte mínimo de 4" (por cada tramo), hecha de aluminio. Los diámetros de los conductores se obtuvieron de las tablas 10-5 y 10-8 respectivamente.

En este caso sólo fue necesario una configuración triplex, ya que el alimentador es de un solo conductor por fase, sin embargo existen ocasiones que se tienen que conectar conductores en paralelo, entonces la configuración quedaría como se indica en la figura 2.16. Hay que hacer notar que cada configuración es distinta a la anterior, es decir tiene diferente secuencia de fases, además que todos los cables de una fase deben tener prácticamente la misma impedancia para evitar que alguno de ellos transmita más corriente y se sobrecaliente. Se trata de evitar los efectos capacitivos que un momento dado se pudieran presentar entre los conductores de la misma fase.

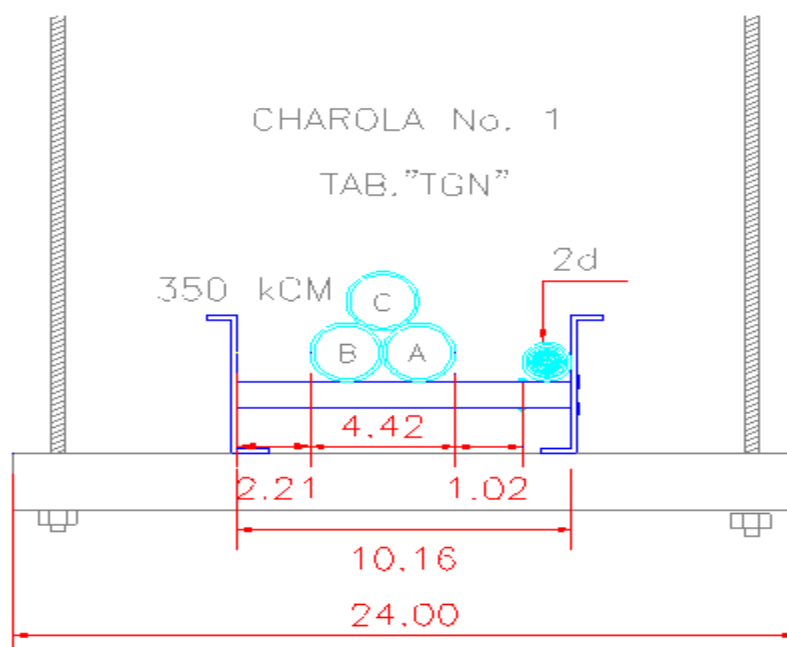


Figura 2.15 Acomodo de cables (un conductor por fase).

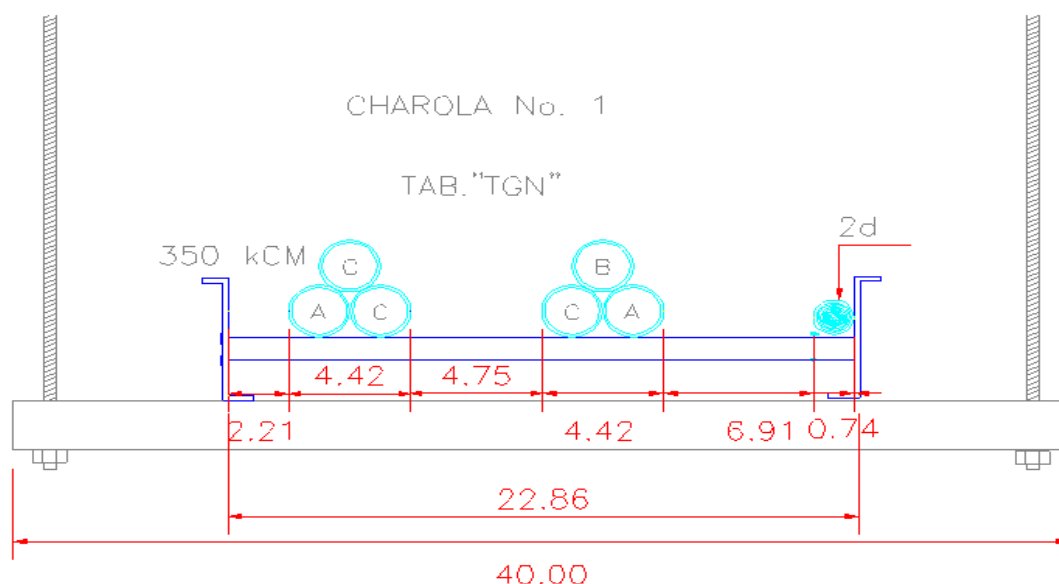


Figura 2.16 Acomodo de cables (dos conductores por fase).

Para la instalación de este tipo de canalización hay que tomar en cuenta cuestiones como la sujeción de los conductores a la charola cada 0.70 m (318-8, (b)), la puesta a tierra de la charola y la conductividad eléctrica entre tramos de charola (318-7), entre otros aspectos, sin embargo estos factores no se toman en cuenta dando origen a contingencias eléctricas.

- Presentación del circuito alimentador:

3-350 kCM (3-384 mm²)

1-2d AWG (1-43.2 mm²)

CH-6"

3P-400 A.

2.6 Alimentadores generales en media tensión.

La mayoría de las contingencias eléctricas que se presentan en las instalaciones de centros comerciales son originadas en baja tensión y solo un porcentaje pequeño es en media tensión, lo cual tiene lógica si consideramos que todos los trabajos relacionados a este voltaje, son por un especialista y que el acceso al público en general está restringido. Sin embargo pueden suceder fenómenos imprevistos o errores de instalación o simplemente el cálculo del calibre del conductor no fue el adecuado.

El suministro de energía eléctrica en media tensión toma en consideración varios aspectos que en baja no se realizan, también se aplican más normatividades y reglamentos que hay que cumplir, por ejemplo, especificaciones de la compañía suministradora, apoyo en las normas internacionales, etc.

A continuación se mostrará el procedimiento de cálculo del alimentador en media tensión, a fin de ilustrar la importancia de esta memoria, ya que muchas veces por experiencia se omite. En el procedimiento se hace mención a varias tablas de normas internacionales y otras nacionales, así como las tablas de los fabricantes de conductores.

Para la determinación de la sección de los conductores, se precisa realizar un cálculo en base a tres consideraciones, escogiendo como resultado el de mayor calibre:

- Intensidad de corriente máxima admisible por el cable en servicio permanente (ampacidad).
- Intensidad de corriente máxima admisible en corto circuito durante un tiempo determinado.
- Caída de tensión.

Los conductores eléctricos utilizados en esta instalación son cables de energía, los cuales están diseñados para trabajar a tensiones eléctricas distintas a las de B.T., se especifican de acuerdo a la tensión de operación del sistema y de acuerdo al tipo de aislante. Están formados por varias capas de distinto material con fines independientes. La ejecución de los trabajos de la instalación y todo lo relacionado con estos conductores debe realizarse cumpliendo con lo establecido en los artículos 326 y 923 (entre otros) de la NOM-001-SEDE-2005, así como los requerimientos de la compañía suministradora y consejos por parte de fabricantes. La siguiente figura muestra las diversas capas de este tipo de conductores.

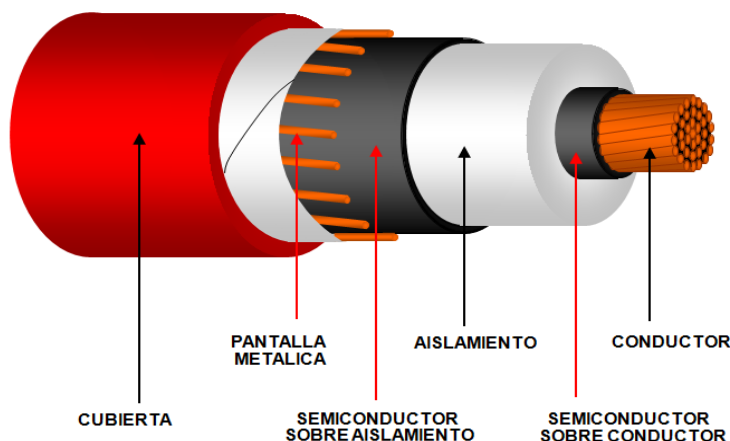


Figura 2.17 Cable de energía de media tensión.

2.6.1 Consideraciones generales.

Todos los cálculos tienen justificación de acuerdo a varias normatividades, tales como la NOM-001-SEDE-2005, NEC-2005 ó 2008, IEEE, especificaciones de CFE y varias más. El alcance de este cálculo es a partir de la cometa por parte de la compañía suministradora, es decir desde la transición de la línea de distribución hasta el tablero de media tensión (gabinetes metálicos acoplados con un fin común pero con distinto funcionamiento) que se encuentra en un área destinada para esta función conocida como “casa de máquinas eléctricas”. La trayectoria del alimentador para este caso es subterránea por medio de cepa desde el poste de remate de la línea, pasando por la caseta de medición (medición en M.T.) hasta llegar al gabinete de acometida de la subestación. En la figura 2.18 se observa parte de este procedimiento.



Figura 2.18 Acometida y transición de área-subterránea en M.T.

2.6.2 Cálculo por ampacidad.

De la misma manera que en baja tensión, el cálculo por ampacidad considera el agrupamiento de los conductores y la temperatura de operación, además este procedimiento contempla el tipo y la profundidad de instalación del alimentador.

- Cálculo de la corriente nominal:

$$I_n = \frac{S_T}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Donde:

S_T es la carga total conectada o demandada, o en su defecto la potencia aparente de la subestación, asumiendo que el sistema eléctrico de la tienda de autoservicios está alimentado por una subestación de 1250 kVA, es decir que cuenta con un transformador de esa capacidad y el voltaje de operación en M.T. es de 13.2 kV, entonces:

$$I_n = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 13.2}$$

$$I_n = 54.6749 \text{ [A]}$$

- Cálculo de la corriente corregida:

❖ Tipo de instalación:

Como se mencionó arriba, la trayectoria del circuito es de manera subterránea por medio de cepa. La instalación será en tubo (conduit) rígido no metálico (PVC uso pesado) o en tubo tipo PAD (polietileno de alta densidad), las condiciones de instalación difieren muy poco.

Toda vez seleccionado el tipo de canalización, se checa la tabla 310-77 tomando en cuenta las diferentes configuraciones de los conductores dentro de la canalización, obteniendo de esta manera el calibre del conductor adecuado. Posteriormente, este valor de ampacidad deberá corregirse, debido al incremento en la profundidad de la instalación, tomando como referencia la tabla 2.4 denominada “Factores de corrección por incremento en la profundidad de instalación” tomada de la Sección Técnica ST.124 de Condumex, pág. 54. La siguiente corrección que se debe aplicar es por el arreglo en ducto, para esto la referencia es la tabla 2.5 (tabla 13-9 del Std. 399-1997 del IEEE). Estas tablas se muestran en las páginas 51 y 52 de este trabajo.

❖ Agrupamiento de conductores:

Se debe aplicar el factor de corrección indicado, al valor de corriente ya corregida por el punto antes mencionado (art. 310-15, (g)).

❖ Temperatura de operación del alimentador:

La capacidad de conducción de corriente obtenida hasta el punto anterior debe corregirse también para temperaturas ambiente diferentes de 40°C, así como temperaturas de terreno diferentes de 20°C (tab. 310-77). Sabemos que la temperatura ambiente del lugar es de 38°C. Los factores de corrección de ampacidad que se deben aplicar están indicados en la tabla 2.6 denominada “Factores de corrección por variación en la temperatura ambiente”, tabla que se obtiene de la Sección Técnica ST.124 de Condumex, página 50.

Cabe mencionar que echamos mano de estas tablas, solo por mencionar una marca de conductores, pero que no es la única y que no se debe tomar como “regla”, ya que existen diferentes marcas de conductores, solo hay que considerar en los parámetros de diseño las tablas que cada fabricante maneja.

Considerando toda la información anterior, la corriente corregida se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_{\text{corr}} = I_c \times F.P. \times F.d \times F.A \times F.T. \dots\dots\dots (2.36)$$

Donde:

I_{corr} es la corriente corregida.

I_c es la corriente del conductor.

F.P. es el factor de corrección por incremento de la profundidad.

F.d es el factor de corrección por arreglo en ducto.

F.A. es el factor de corrección por agrupamiento.

F.T. es el factor de corrección por variación de la temperatura.

Para obtener el F.P. debemos conocer el tipo de canalización que vamos a utilizar, así como el arreglo de los tubos. La trayectoria del alimentador será por medio de tubo tipo pad (polietileno de alta densidad) en cepa que pasa por una banquetta y parte de un jardín (CFE-P4B); el arreglo será un conductor por canalización dejando un tubo para incremento a futuro, así como se muestra en la figura 2.19. Esta especificación muestra que la profundidad de la cepa es de 0.85 [m] y que el arreglo de ductos es de cuatro columnas por un renglón.

Considerando este arreglo y la I_n , además que la temperatura de operación del conductor es de 90°C, el calibre seleccionado según 310-77 es el número 6 AWG, por lo que la

$I_{cond}=77$ [A], así mismo según la tabla 2.5 el F.d. = 0.803, de tal manera que el F.P. = 1 (tab. 2.4).

El F.A. = 1 ya que solo es un conductor por ducto (art. 310-15 (g)), para el F.T. = 0.92 (tab.2.6).

Finalmente la ecuación 2.36 queda:

$$I_{corr} = 77 \times 1 \times 0.803 \times 1 \times 0.92$$

$$I_{corr} = 56.8845 \text{ [A]}$$

Se observa que este valor de la I_{corr} está muy cerca al valor de la corriente nominal y se recomienda analizar el cálculo con un calibre mayor.

Checando con un calibre 4 AWG se observa que la $I_{corr} = 73.1372$ [A], por lo tanto como este valor es mayor a la I_n el calibre seleccionado es correcto.

Por ampacidad queda un calibre numero 4 AWG y se especifica al cable de energía con aislamiento tipo XLPE. Entonces el calibre seleccionado por ampacidad es: 3-4 AWG (XLPE), un conductor por fase y ducto.

Factores de corrección por incremento en la profundidad de instalación.		
Profundidad de la instalación [m]	Conductor en ductos subterráneos	
	5 kV a 23 kV	35 kV
0.9	1.00	-----
1.0	0.99	-----
1.2	0.98	1.00
1.5	0.97	0.99
1.8	0.95	0.97
2.5	0.91	0.92

Tabla 2.4 Factores de corrección por incremento en la profundidad de instalación.

Cable size	No. of rows	Number of columns														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
#6	1	1.00	.920	.854	.803	.758	.726	.699	.678	.660	.646	.635	.628	.620	.615	.610
	2	.920	.800	.714	.660	.620	.590	.570	.552	.540	.530	.521	.515	.509	.503	.500
	3	.840	.714	.625	.569	.530	.501	.484	.470	.459	.450	.442	.436	.429	.423	.420
	4	.770	.642	.560	.506	.469	.441	.422	.406	.394	.385	.378	.371	.367	.362	.358
#4	1	1.00	.920	.852	.800	.755	.722	.695	.673	.655	.642	.630	.623	.615	.610	.605
	2	.920	.795	.714	.660	.620	.590	.570	.552	.540	.530	.521	.515	.509	.503	.500
	3	.835	.709	.615	.561	.521	.493	.474	.459	.448	.439	.430	.424	.420	.416	.412
	4	.760	.630	.548	.498	.460	.430	.410	.395	.382	.374	.367	.361	.356	.352	.350
#2	1	1.00	.910	.836	.784	.748	.714	.688	.665	.649	.635	.625	.616	.609	.602	.598
	2	.920	.782	.689	.639	.599	.570	.548	.531	.518	.508	.500	.494	.489	.484	.480
	3	.820	.689	.600	.544	.505	.479	.460	.445	.433	.424	.417	.410	.405	.400	.395
	4	.746	.622	.539	.484	.445	.415	.396	.382	.370	.361	.353	.348	.342	.338	.334
#1	1	1.00	.905	.827	.777	.731	.697	.670	.645	.626	.610	.598	.588	.579	.571	.565
	2	.920	.771	.681	.629	.590	.560	.538	.519	.502	.491	.480	.471	.462	.455	.450
	3	.816	.681	.588	.532	.497	.469	.448	.432	.418	.407	.397	.389	.382	.376	.370
	4	.785	.605	.524	.471	.435	.410	.390	.376	.364	.353	.347	.340	.333	.328	.323
1/0	1	1.00	.904	.825	.775	.729	.695	.668	.643	.624	.609	.597	.587	.578	.570	.564
	2	.912	.765	.671	.619	.580	.549	.527	.509	.494	.481	.471	.462	.453	.446	.440
	3	.811	.671	.581	.525	.488	.460	.440	.423	.409	.398	.387	.379	.372	.365	.359
	4	.730	.604	.518	.464	.431	.406	.385	.372	.359	.349	.341	.335	.329	.324	.320

Tabla 2.5 Factores de corrección por arreglo en ducto (tabla 13-9 del Std. 399-1997 del IEEE).

Factores de corrección por variación en la temperatura ambiente. Cables directamente enterrados o en ductos subterráneos.					
Máxima temperatura del conductor	Temperatura del terreno [°C]				
	15	20	25	30	35
60	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85
75	1.10	1.05	1.00	0.95	0.88
80	1.09	1.04	1.00	0.96	0.90
90	1.07	1.03	1.00	0.97	0.92

Tabla 2.6 Factores de corrección por variación en la temperatura ambiente.

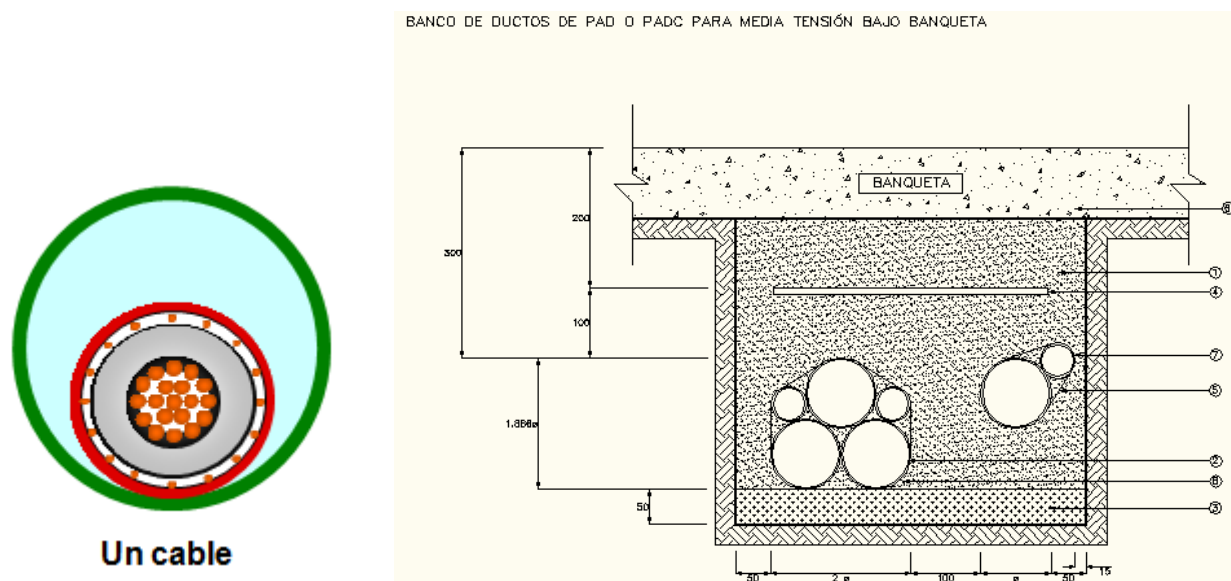


Figura 2.19 Arreglo de conductores en ducto y arreglo de ductos en cepa según especificación de CFE.

2.6.3 Cálculo por corto circuito.

Cuando sucede una falla por corto circuito y llegara a circular por un cable de energía, el fenómeno que presenta al instante es el incremento de la temperatura de los elementos metálicos de éste (conductor, pantalla y cubierta metálica), si este incremento llega a los valores límites admisibles, los materiales de las capas vecinas al conductor o a la pantalla se deterioran ocasionando una contingencia. Cabe mencionar que, este deterioro dependerá del tiempo de duración de la falla.

Si bien para el cálculo de la sección del conductor se puede utilizar la corriente de corto circuito trifásico o monofásico, utilizaremos la correspondiente a la falla trifásica por ser una falla franca y por lo tanto de mayor impacto y más destructiva. Así pues, para calcular la sección de la pantalla utilizamos la corriente de corto circuito monofásico por ser una falla asimétrica.

La ecuación para calcular la sección del conductor es la que se presenta a continuación:

$$\left[\frac{I_{cc3\phi}}{A} \right]^2 t = K \log \frac{T_2 + T}{T_1 + T} \dots\dots\dots (2.37)$$

Donde:

$I_{cc3\phi}$ = Corriente de corto circuito trifásico en amperes.

A = Área de la sección transversal del conductor en Circular Mils.

t_f = Tiempo de duración de la falla.

K = Constante del material del conductor.

T_2 = Temperatura máxima de corto circuito del aislamiento en °C.

T_1 = Temperatura máxima de operación del aislamiento del conductor en °C.

T = Temperatura en °C (bajo cero) en la cual el material tiene resistencia eléctrica teóricamente nula.

La ecuación para seleccionar la sección de la pantalla es:

$$I_{cc1\phi} = C \frac{A}{\sqrt{t_f}} \dots\dots\dots (2.38)$$

Donde:

$I_{cc1\phi}$ = Corriente de corto circuito monofásico en amperes.

A = Área de la sección transversal del conductor en Circular Mils.

t_f = Tiempo de duración de la falla.

C = Constante que depende de A y el tipo de aislamiento.

Según los datos indicados al inicio del cálculo de los circuitos derivados, sabemos:

$$P_{cc3\phi} = 179 \text{ [MVA]}$$

$$t_f = 0.133 \text{ [s]}$$

De la ecuación 2.37, necesitamos obtener el valor de la constante K , así como el de las temperaturas, estos valores se obtendrán de las tablas siguientes:

Material del aislamiento	En contacto con el conductor	En contacto con la pantalla
Termoplásticos (PVC, PE)	150	200
Papel impregnado	200	200
Termofijos (XLPE, EP)	250	350*
* Para cables con cubierta de plomo, esta temperatura deberá limitarse a 200°C.		

Tabla 2.7 Temperaturas máximas del aislamiento al ocurrir un corto circuito (según ICEA).

Material	K	T
Cobre	0.0297	234.5
Aluminio	0.0125	228
Plomo	0.0097	236.5
Acero	0.00326	180

Tabla 2.8 Factores K y valores de la temperatura bajo cero (T).

Para obtener el valor de la sección transversal del conductor, la ecuación 2.37 se modifica y nos queda de la siguiente manera:

$$A = I_{cc3\phi} \sqrt{\frac{t_f}{K \log \frac{T_2 + T}{T_1 + T}}} \dots\dots\dots (2.39)$$

Material del aislamiento	Conductor*	Pantalla**
Termoplásticos (PVC, PE)	110.32	138.14
Termofijos (XLPE, EP)	141.9	128.28
* La temperatura en el conductor es la misma de operación. ** La temperatura en la pantalla, para cables de mediana tensión, se considera 10°C debajo de la del conductor.		

Tabla 2.8 Valores de la constante C.

De acuerdo a las tablas anteriores y a la ecuación 2.39, el área de la sección transversal del conductor seleccionado por corto circuito es:

Primero necesitamos al valor de la corriente, ésta se obtiene:

$$I_{cc3\phi} = \frac{MVA_{cc3\phi} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV} \dots\dots\dots (2.40)$$

Sustituyendo valores nos queda:

$$I_{cc3\phi} = \frac{179 \times 1000}{\sqrt{3} \times 13.2}$$

$$I_{cc3\phi} = 7,829.4492 \text{ [A]}$$

K = 0.0297, T = 234.5, T₁ = 90°C (dato del fabricante y norma 310-77), T₂ = 250 (por ser de aislamiento XLPE).

Sustituyendo valores en 2.39:

$$A = 7,829.4492 \sqrt{\frac{0.1333}{0.0297 \log \frac{250 + 234.5}{90 + 234.5}}}$$

$$A = 34,433.3802 \text{ [CM]}$$

$$A = 34.4333 \text{ [kCM]}$$

$$A = 17.4434 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Entonces el calibre seleccionado por corto circuito es: 3-4 AWG (XLPE), un conductor por fase y ducto.

Como dato adicional, el cálculo de la pantalla del cable, según 2.38, nos queda:

$$A = \frac{I_{cc1\phi} \times \sqrt{t}}{C}$$

$$A = \frac{7479.5297 \times \sqrt{0.1333}}{128.28}$$

$$A = 21.28 \text{ [CM]}$$

2.6.4 Cálculo por caída de tensión.

La caída de tensión en estos alimentadores es regularmente pequeña, por lo tanto despreciable y solo afectaría si se tratara de una línea de gran longitud, sin embargo realizamos el procedimiento de cálculo como complemento. Este método está basado en el

Std.141-1993 del IEEE, específicamente en su artículo 3.11, y la norma de diseño y proyecto en baja y media tensión de CFE BMT-DP capítulo 2.2.2, por lo que marcaremos como máximo un 1% permisible de este valor.

$$\Delta E = I \times L \times Z$$

$$\Delta E = \sqrt{(E_{car} \cos \phi + ILR)^2 + (E_{car} \sin \phi + ILX)^2} - E_{car} \quad \dots (2.41)$$

Donde:

ΔE es la caída de tensión del sistema.

E_{car} es el voltaje característico al neutro.

$\cos \phi$ es el factor de potencia.

R es la resistencia del conductor obtenido por ampacidad.

X es la reactancia del conductor obtenido por ampacidad.

I es la corriente nominal obtenida en el cálculo por ampacidad.

El E_{car} se obtiene de la siguiente manera:

$$E_{car} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{car} = \frac{13200}{\sqrt{3}}$$

$$E_{car} = 7,621.0235 [V]$$

El factor de potencia (general) es:

$$\cos \phi = 0.9$$

De la tabla 2.9 se observa que para el calibre 4 AWG se tienen valores de resistencia y reactancia X_A :

$$R = 0.288 [\Omega / \text{conductor} / 1000 \text{ ft}]$$

$$X_A = 0.113.$$

Este valor de reactancia no es suficiente, debido a la restricción por ser el alimentador un circuito trifásico, el valor de la reactancia del cable esta dado por $j(X_A + X_B)$, entonces el valor de X_B es -0.0571 según la tabla 2.10 (separaciones de los conductores).

Los valores de resistencia y reactancia se necesitan en Ω / Km , entonces:

$$R = 0.288 \frac{\Omega}{1000 \text{ ft}} \times \frac{1000 \text{ ft}}{304.8 \text{ m}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}}$$

$$R = 0.9448 [\Omega / \text{Km}]$$

De la misma manera para la reactancia:

$$X = 0.113 + (-0.0571) [\Omega / \text{conductor} / 1000 \text{ ft}]$$

$$X = 0.0559 \frac{\Omega}{1000 \text{ ft}} \times \frac{1000 \text{ ft}}{304.8 \text{ m}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}}$$

$$X = 0.1833 [\Omega / \text{Km}]$$

Sustituyendo valores en 2.41 nos queda:

$$\Delta E = \sqrt{[7,621.0235(0.9) + (54.6749 \times 0.150 \times 0.9448)]^2 + [7,621.0235(0.43) + (54.6749 \times 0.150 \times 0.1833)]^2}$$

$$\rightarrow 7,621.0235$$

$$\Delta E = 11.81[V]$$

Como era de esperarse la caída de tensión es muy pequeña, por lo tanto se concluye que el calibre seleccionado por ampacidad es adecuado también por caída de tensión.

Tamaño del conductor		Resistencia R a 50°C, 60 Hz. (ohms/conductor/1000 pies)	Reactancia X _A a un pie de separación, 60 Hz. (ohms/conductor/1000 pies)
Cmil	AWG		
500,000		0.0246	0.0839
350,000		0.0348	0.0883
250,000		0.0487	0.0922
	4/0	0.0547	0.0953
	3/0	0.0724	0.0981
	2/0	0.0911	0.101
	1/0	0.115	0.103
	2	0.181	0.108
	4	0.288	0.113
	6	0.453	0.121

Tabla 2.9 Constantes para conductores de cobre con espaciamento simétrico de un pie (tab. 4A-3 Std. 141-1933 del IEEE). Para circuitos trifásicos la impedancia de línea a neutro es de $Z = R + j(X_A + X_B)$.

Separation (inches)												
(ft)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	—	-0.0571	-0.0412	-0.0319	-0.0252	-0.0201	-0.0159	-0.0124	-0.0093	-0.0066	-0.0042	-0.0020
1	—	0.0018	0.0035	0.0051	0.0061	0.0080	0.0093	0.0106	0.0117	0.0129	0.0139	0.0149
2	0.0159	0.0169	0.0178	0.0186	0.0195	0.0203	0.0211	0.0218	0.0255	0.0232	0.0239	0.0246
3	0.0252	0.0259	0.0265	0.0271	0.0277	0.0282	0.0288	0.0293	0.0299	0.0304	0.0309	0.0314
4	0.0319	0.0323	0.0328	0.0333	0.0337	0.0341	0.0346	0.0350	0.0354	0.0358	0.0362	0.0366
5	0.0370	0.0374	0.0377	0.0381	0.0385	0.0388	0.0392	0.0395	0.0399	0.0402	0.0405	0.0409
6	0.0412	0.0415	0.0418	0.0421	0.0424	0.0427	0.0430	0.0433	0.0436	0.0439	0.0442	0.0445
7	0.0447	0.0450	0.0453	0.0455	0.0458	0.0460	0.0463	0.0466	0.0468	0.0471	0.0473	0.0476
8	0.0478											

Tabla 2.10 Factor de espaciamento para X_B a 60Hz, en ohms por 1000 pies de conductor (tab. 4A-5 Std. 141-1933 del IEEE).

Se observa que el calibre seleccionado 4 AWG cumple con los tres cálculos, sin embargo este tamaño es demasiado pequeño para algunos fabricantes, ya que el calibre mínimo que se fabrica para M.T. es el calibre 2 AWG y algunos otros fabricantes el mínimo es un 1/0, además que CFE indica que el mínimo calibre debe ser 1/0 AWG, por lo tanto el calibre a instalar es este último (de aquí la omisión de la memoria de cálculo en ocasiones).

Con el fin de salvaguardar la seguridad de las personas y equipo (independientemente si el calibre quedo sobrado o no), se especifica (salvo que se indique otra cosa) la categoría de aislamiento número I (100% Nivel de aislamiento), según CFE.

Finalmente, el calibre del alimentador en media tensión es:

Cable de energía calibre 1/0 AWG (1C/Fase), clase 15 kV con aislamiento tipo XLPE y pantalla electrostática a base de cintas de cobre suave con espesor mínimo de 21.28 CM y categoría I de nivel de aislamiento.

2.6.5 Cálculo del diámetro de la canalización:

Siguiendo el mismo procedimiento realizado para la canalización de los circuitos derivados (tab. 10-4), necesitamos el área transversal del conductor, sin embargo los catálogos de los fabricantes solo indican el diámetro total del cable en mm, es decir con todos y sus capas, entonces:

$\phi_T = 30$ [mm]; diámetro total del conductor.

$r_c = 15$ [mm]; radio del conductor.

Con el radio se obtiene el área transversal:

$$A_c = \pi \times r^2$$

$$A_c = \pi \times 15^2$$

$$A_c = 706.85 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Se puede ver que este conductor cabe perfectamente en una tubería de 53 mm de ϕ , pero considerando un incremento de carga a futuro (alojar más conductores dentro de la canalización) se deja una canalización de 78 mm de ϕ (3"), aunque muchos proyectistas proponen una tubería de 101 mm de ϕ (4").

En las siguientes figuras se aprecia la instalación realizada en campo de los bancos de ductos de media tensión con sus respectivos coples y sujetadores, así como su encofrado, si la tubería instalada es PVC, señalando que si es PAD, la instalación sería sin encofrado y con una cinta señalizadora de "precaución tubería eléctrica" según norma de CFE-4PB.



Figura 2.20 Arreglo de ductos en cepa con sujetadores y encofrado.

Otro aspecto fundamental en este tipo de instalaciones, son los registros de M.T., los cuales deben cumplir con lo establecido en las especificaciones del suministrador de la energía eléctrica de acuerdo al banco de ductos instalados, así como lo indicado en el artículo 923 de la NOM-001-SEDE-2005. Es muy importante el cruzamiento con otras instalaciones que también son realizadas de la misma manera, con el fin de evitar filtraciones de agua o rupturas de los ductos, "su separación debe ser lo más amplia posible, a fin de permitir trabajos de reparación o mantenimiento" (art. 923-12, (c)), así pues por mencionar un ejemplo, las instalaciones hidráulicas deben estar separadas de las eléctricas, mínimo 1 m.

2.7 Subestación eléctrica.

2.7.1 Generalidades.

En el uso de la energía eléctrica (independiente del fin para el cual este destinada) intervienen una gran variedad de máquinas y equipos eléctricos, lo cual nos exige conocer su interacción. Se sabe que el suministro energía eléctrica se basa en el principio *generación-consumo* y que para desarrollar este principio se requieren de elementos que cumplan con las necesidades que el sistema demande. Un ejemplo de estos elementos es una subestación eléctrica, a la cual definimos como un conjunto de elementos o dispositivos que permiten cambiar o alterar las características eléctricas del sistema (voltaje, corriente, frecuencia, etc.), ya sean de c.a. o c.c. con un fin común y sus funciones principales son las de transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

Existen varios puntos que deben tomarse en cuenta en el diseño de una subestación, por ejemplo, la capacidad y la tensión eléctrica a la que va operar. La primera se fija considerando la demanda actual (en kVA), más el incremento en el crecimiento previendo el espacio necesario para las futuras ampliaciones. Mientras que la tensión eléctrica es fijada por la compañía suministradora.

Para especificar una subestación, es importante conocer el arreglo de conexión de sus dispositivos, esto nos ha traído beneficios en cuanto a continuidad en el servicio, versatilidad de operación y facilidad de mantenimiento de los equipos. Se dice que si conoces la capacidad del (los) transformador (es), conoces la de subestación.

En las instalaciones de tiendas de autoservicio, las subestaciones ya vienen ensambladas y solo basta con definir la cantidad y el tipo de módulos que se requieran, así como el lugar de instalación (exterior, interior, etc.), ver figura 2.21. También hay que definir la capacidad de los fusibles, entre otros aspectos. El arreglo de los gabinetes y su interacción con otros dispositivos ubicados en el mismo local (planta de emergencia, transformadores de potencia, tableros, bancos de capacitores, y otros más) es de gran importancia en el diseño, se destacan las dimensiones reales de los fabricantes, cumpliendo con los reglamentos (NOM-001-SEDE-2005, principalmente artículo 924) y proporcionando un espacio confortable al momento de operar los equipos.



Figura 2.21 Subestación eléctrica tipo interior.

2.7.2 Lugar de instalación.

El lugar de instalación debe ser aquel que tenga menor tránsito posible, que sea accesible solo a personas calificadas, es decir debe tener restringido y resguardado su acceso (art. 924-3), debe tener un tamaño lo suficientemente grande para alojar a los equipos antes mencionados. Este lugar debe estar provisto de ventilación y debe contar con todos los señalamientos de seguridad disponibles. Comúnmente a este lugar se le llama “casa de máquinas eléctricas”. Cuando se trata de servicio interior (como la figura anterior), el lugar debe tener mínimo una altura de 2.10 m (salvo lo que se necesite de acuerdo a los fabricantes de los otros equipos), además de cumplir con las distancias de trabajo mencionadas en el artículo 110-34 de la NOM-001-SEDE-2005.

Uno de los graves problemas que nos encontramos en estas áreas, es que los accesos y salidas no están por completo libres de obstáculos (art. 924-7). En la figura de abajo, se observa que la subestación tipo pedestal está siendo utilizada como base para cartón, además que frente al registro de llegada de M.T. se encuentra el acceso al cuarto de basura, lo cual agrava aún más el problema.



Figura 2.22 Subestación eléctrica tipo pedestal.

En nuestro ejemplo los gabinetes de la subestación compartirán el local con la planta generadora de energía eléctrica para sistema en emergencia, con los transformadores reductores y con los equipos eléctricos de baja tensión (art. 924-4, Excepción).

El local debe contar con extintores ubicados en lugares convenientes y claramente marcados, por lo menos en puntos cercanos a los accesos al local, se deben colocar tantos como sean necesarios (art. 924-8, (a)).

Referente a los contenedores de aceite o diesel, se comete el error de colocar solo un sardinel al contenedor de combustible de la planta generadora de energía eléctrica. En contraste, no se tome en cuenta el peligro que se corre cuando se instalan transformadores con líquido aislante (aceite) y que no cuentan con ningún medio para contener derrames (art. 924-8, (c)), o no construir muros divisorios. Por esta razón, los transformadores de este tipo están siendo sustituidos por transformadores tipo encapsulado, en el cual su medio aislante es una resina.

En las figuras siguientes se observan los tipos de sardinel para los contenedores de diesel o en su defecto para plantas con base tanque (el contenedor de combustible está integrado en la base de la planta). También se muestra la ubicación de la planta generadora de energía eléctrica respecto a los gabinetes de la subestación eléctrica.



Figura 2.23 Sardinel para contenedor de diesel y sardinel para planta de emergencia con base tanque.



Figura 2.24 Planta de emergencia y gabinetes de subestación.

2.7.3 Partes constitutivas de la subestación.

Recordemos que la subestación eléctrica está formada por diferentes equipos, tales como los transformadores (para nuestro ejemplo se encuentran separados de los gabinetes de la subestación), cuchillas, interruptores, barras, capacitores, aisladores, generadores, etc. y que no son elementos independientes pero que se encuentran en la casa de máquinas eléctricas además de otros equipos eléctricos, ya que en muchas ocasiones se confunde esta situación y solo se enfocan en los gabinetes.

2.7.3.1 Gabinetes.

La cantidad de gabinetes y la forma de acoplarlos es primordial, se trata de que los gabinetes de la subestación sean los menos posibles y lo más compactos que se pueda, en la actualidad existen subestaciones hipercompactas que nos ahorran un espacio considerable.

Retomando el sistema que adoptamos como ejemplo, debido a que las dimensiones del lugar destinado para la ubicación de la subestación, las cuales son pequeñas, lo recomendable es utilizar una subestación tipo hipercompacta, en México, el fabricante es Schneider Electric y la descripción de la subestación es la que se muestra a continuación.

Subestación hipercompacta (tablero de media tensión autosoportado) en hexafluoruro de azufre (SF_6), tipo interior, clase 15 kV, de 1250 kVA, 60 Hz, para operar a 560 m.s.n.m., capacidad en barras principales 125 [A]. La subestación consta de los siguientes módulos:

1.- Sección de acometida:

Este gabinete tiene como función recibir los cables de acometida, así como impedir el paso de energía eléctrica a la siguiente sección y consta de:

- a. Juego de barras tripolares aisladas de 125 [A] de capacidad.
- b. Juego de conectores para cables de acometida por la parte inferior (1/fase).

2.- Sección de seccionador:

Seccionador en aire operación en grupo con carga para media tensión 13.2 kV, 3F-3H, 125 [A], con disparo simultáneo en caso de fusión de un fusible, consta de:

- a. Tiene tres fusibles limitadores de corriente de capacidad de acuerdo a transformador, con capacidad interruptiva de 650 MVA.
- b. Tres apartarrayos de óxidos metálicos para 13.2 kV, con neutro sólidamente conectado a tierra.
- c. Mecanismo de seguridad para mantener cerrada la puerta mientras el seccionador esté en la posición de conectado.

3.- Sección transición (dos secciones, una para acoplamiento a interruptor principal y otro para acoplamiento a transformador):

Gabinete que aloja en su interior barras de transición y aisladores soporte clase 15 kV.

4.- Sección interruptor/fusible principal (dos interruptores por ser dos circuitos):

Interruptor derivado en M.T. tipo hipercompacto tripolar en SF_6 operación en grupo, consta de los siguientes elementos:

- a. Juego de barras tripolares aisladas de 125 [A].
- b. Interruptor de operación con carga de 125 [A], con puesta a tierra a la desconexión y SF_6 como medio de extinción del arco eléctrico.
- c. Mecanismo de operación del interruptor tipo C11 manual desde el exterior por medio de una placa y de forma automática al fundirse cualquiera de sus fusibles.
- d. Bus mímico en el frente del mecanismo de operación para la indicación de “conectado, desconectado y puesta a tierra”.
- e. Juego de tres fusibles limitadores de corriente de 125 [A] de tiempo extremadamente inverso para la protección de corto circuito instantáneo.
- f. Señalización mecánica de fusión de fusibles y juego de barras tripolares.

La capacidad de los fusibles se determina por varios métodos:

- Por especificación de fabricante, según tablas:

Con los datos de tensión de operación y capacidad nominal del transformador. Según el fabricante y tomando como capacidad nominal del transformador a la suma de los

capacidades de los transformadores, es decir de 1,250 kVA se tiene que la capacidad nominal de los fusibles es de 125 [A], con capacidad interruptiva de 800 [MVA].

➤ Por experiencia:

Se sabe que los valores de la corriente mínima de interrupción son de 1.8 a 2 veces la corriente nominal del fusible, debido a la respuesta instantánea del perno percusor del fusible que provoca el disparo del mecanismo y la apertura de las tres fases simultáneamente. Lo anterior se muestra con la siguiente ecuación:

$$I_F = I_n \times 2 \dots\dots\dots (2.42)$$

Se sabe que la I_n es igual a 54.67 [A], entonces nos queda:

$$I_F = 54.67 \times 2$$

$$I_F = 109.34 \text{ [A]}$$

Con este valor se checan las capacidades nominales de los fusibles y se obtiene que es de 125 [A].

➤ Método gráfico:

Este método se basa en la curva característica de tiempo de fusión (corriente-tiempo), donde se observa que la intersección de la recta horizontal prolongada del valor de 0.1 [s] (8 ciclos, tiempo de duración de la falla) con la recta vertical prolongada del valor de la corriente prospectiva simétrica de corto circuito, que no es más que la corriente nominal del transformador multiplicada 12 veces (valor eficaz), se obtiene un punto de intersección, con este valor como referencia se aplica al calibre inmediato superior y se obtiene la capacidad del fusible. En la figura 2.25 se muestra la curva característica.

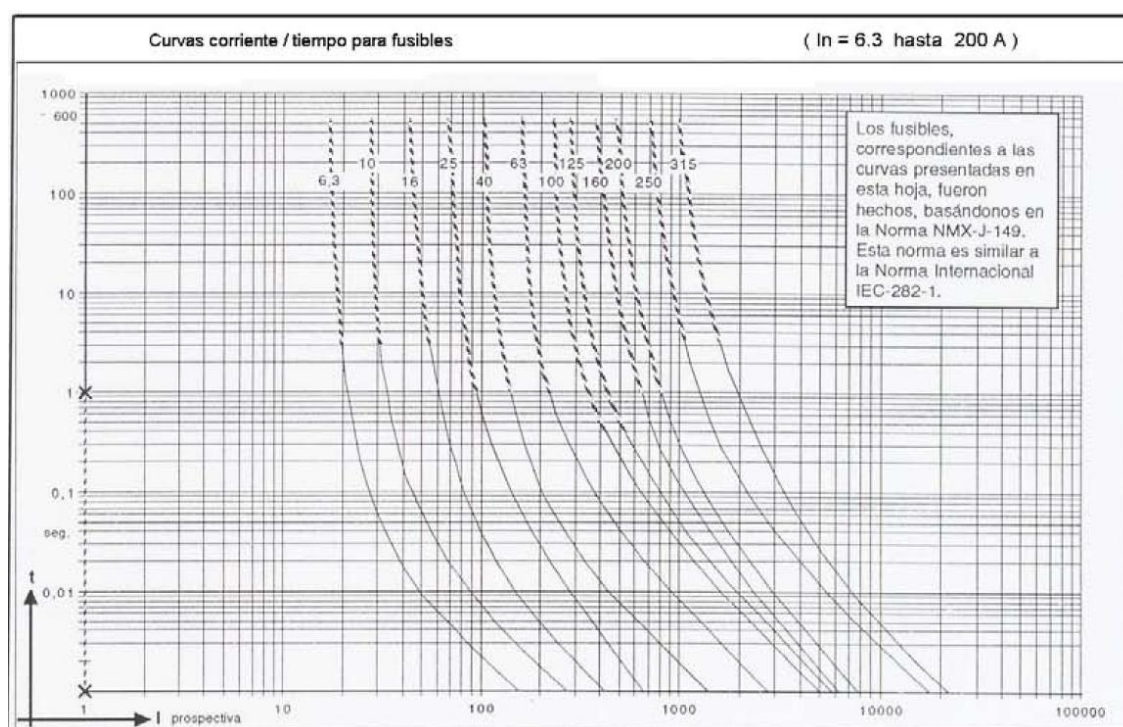


Figura 2.25 Curva característica de tiempo de fusión.

Una vez obtenido este valor se deben cumplir tres condiciones:

a) $0.8 \times C_P > I_{\text{prospectiva}}$

Donde C_P es la proyección sobre el eje de la corriente prospectiva simétrica de corto circuito, con el calibre inmediato superior, entonces:

$$\begin{aligned} I_{\text{prospectiva}} &= 12 \times I_n \\ I_{\text{prospectiva}} &= 12 \times 54.67 \\ I_{\text{prospectiva}} &= 656.04 \text{ [A]} \end{aligned}$$

Con este valor y con el 0.1 [s] se observa que la corriente nominal del fusible es de 100 [A] y que el valor de C_P es aproximadamente igual a 850 [A], entonces sustituyendo estos valores en la ecuación a) nos queda:

$$\begin{aligned} 0.8 \times 850 &> 656.04 \\ 680 &> 656.04 \end{aligned}$$

Por lo tanto la primera condición se cumple, ya que la corriente prospectiva es la mínima corriente de activación del fusible.

$$b) \frac{(I_{\text{ntrafo}} \times 100)}{Z\%} > I_{mc}$$

Donde:

I_{ntrafo} es la corriente nominal del transformador.

$Z\%$ es el porcentaje de impedancia del transformador (la corriente del lado de alta cuando el lado de baja está en corto circuito trifásico), para nuestro transformador es de 6%.

I_{mc} es la corriente mínima de corte del fusible ($I_{mc} = 5 \times I_n$ del fusible).

Sustituyendo valores nos queda:

$$\begin{aligned} \frac{(54.67 \times 100)}{6} &> (5 \times 100) \\ 911.16 &> 500 \end{aligned}$$

Se concluye que la segunda condición también se cumple con un fusible de 100 [A]. Esto quiere decir que el fusible va a operar cuando el transformador presente un corto circuito en el lado de B.T.

$$\begin{aligned} c) \quad I_{\text{n fusible}} = I_F &> 1.3 I_{\text{sobrecarga}} \\ I_F &> 1.31 \times \% \text{sobrecarga} \times I_{\text{n trafo}} \end{aligned}$$

Se trata de evitar con esta condición el envejecimiento en el fusible, esto es que el tipo de fusible seleccionado debe ser igual al menos a $1.31 I_{\text{n trafo}}$ si no se requiere prever de sobrecarga y a 1.3 de sobrecarga en caso contrario.

Suponiendo un 10% de sobrecarga se tiene:

$$\begin{aligned} 100 &> 1.3 I \times 1.1 \times 54.67 \\ 100 &> 78.77 \end{aligned}$$

Con esto se cumple la tercera condición indicando que el fusible soportará la sobrecarga del transformador.

Entonces, por el método gráfico, se observa que el fusible tiene que ser de 100 [A], sin embargo algunos fabricantes, para esta tensión y capacidad del transformador no trabajan esta capacidad, por lo que optamos por el inmediato superior que es el de 125 [A].

Finalmente, concluimos que los fusibles son de 100 [A] y capacidad interruptiva de 800 [MVA] (según fabricantes).

2.7.3.2 Transformadores.

Otro dispositivo que forman parte de la subestación y que para muchos es el más importante, es el transformador, el cual describimos a continuación.

Existe una variedad muy extensa de transformadores, para nuestro estudio el más indicado es el tipo seco servicio interior encapsulado en una resina, debido a lo comentado anteriormente sobre los transformadores con líquido aislante, se especifica este transformador por las ventajas que ofrece.

El transformador que se selecciona es el de la gama Trihal, el cual tiene bobinados en media y baja tensión encapsulados y moldeados al vacío en una resina époxy clase F, el tipo de material utilizado en sus bobinados son de cobre-cobre o de aluminio-aluminio o una combinación de ambos. Gracias a estas técnicas se consigue reforzar las características dieléctricas, el nivel de descarga es bajo, lo cual nos representa un tiempo de vida del transformador mayor, así como una resistencia mayor a las ondas de choque.

La resina époxy está hecha a base bisfenol A, cuya viscosidad está adaptada a una alta impregnación de los bobinados. Para que el sistema funcione adecuadamente necesita un endurecedor y una carga activa compuesta de sílice y de alúmina trihidratada, los cuales interactúan proporcionando una protección ante el fuego muy importante, esto es, el sílice refuerza la calidad mecánica del encapsulado y la alúmina trihidratada provoca procesos antifuego, con esto se logra la autoextinguibilidad del transformador.

Como se observa, el transformador encapsulado es más seguro que otros, sin embargo no se encuentra exento de eventualidades ajenas al sistema eléctrico interno o a una instalación inadecuada, estos transformadores son autoextinguibles internamente, ¿pero que hay con el exterior?, la figura 2.26 nos muestra un conato de incendio en este tipo de transformadores.



Figura 2.26 Transformador tipo encapsulado quemado.

La conexión de baja tensión es por la parte de arriba (por medio de barras o cables flexibles), en donde se aprecia que los cables y parte de los bobinados están completamente derretidos por el intenso calor originado, posteriormente el fuego se propagó por todo el bobinado y parte de las conexiones en alta tensión.

La finalidad de esta imagen es mostrar el peligro latente al realizar una mala conexión, un mal cálculo, o simplemente los imprevistos. Independientemente de lo seguro que pudiera parecer el equipo eléctrico no hay que olvidar nuestra responsabilidad al instalarlos o al diseñarlos.

A continuación mostraremos el cálculo para encontrar la capacidad de un transformador, considerando cargas de alumbrado, receptáculos y de motores.

$$kVA_{\text{trafo}} = M + A + R \dots\dots\dots (2.43)$$

Donde:

- M es la carga total de fuerza del sistema y se obtiene de la siguiente manera:

$$M = (HP_T \times F_D) + (kW \times F_1) \dots\dots\dots (2.44)$$

Se observa que esta ecuación es general ya que puede darse el caso de tener toda la carga en HP (considerando F.P.=1 y por lo tanto HP=kVA) o toda en kW, además que el valor de $F_1 = \frac{F_D}{F.P.F.}$; F.P.F. es el factor de potencia general de fuerza (0.90 regularmente) y el F_D es el que se obtiene por cálculo o proporcionado por el cliente.

- A es la carga total de iluminación del sistema y se obtiene de la siguiente manera:

$$A = kW \times F_2 = kVA \times F_D \dots\dots\dots (2.45)$$

Sabiendo que $F_2 = \frac{F_D}{F.P.I.}$; F.P.I. es el factor de potencia general de alumbrado (0.95 si los luminarios cuentan con balastro electrónico de alto factor de potencia) y el F_D el mismo que el anterior.

- R es la carga total de receptáculos y cargas pequeñas.

$$R = kW \times F_3 = kVA \times F_D \dots\dots\dots (2.46)$$

Sabiendo que $F_3 = \frac{F_D}{F.P.R.}$; F.P.R. es el factor de potencia general de receptáculos (0.90 como parámetro supuesto de diseño o el que el propietario indique) y el F_D el mismo que el anterior.

Una vez encontrado el valor de la ecuación 2.43 se verifica con las capacidades nominales existentes o las indicadas por los fabricantes, a este valor se le llamará capacidad nominal del transformador kVA_n . Posteriormente se determinará el factor de carga o factor de utilización del transformador, por medio de la siguiente ecuación:

$$F_C = F_U = \frac{kVA_{\text{trafo}}}{kVA_n} \times 100\% \dots\dots\dots (2.47)$$

Otras de las características debemos indicar en la instalación de un transformador es la distancias de trabajo. En muchas de las subestaciones de centros comerciales no se respeta lo indicado en la norma y se comete el error de no dejar espacio suficiente para los transformadores ocasionando accidentes y/o conatos de incendio, por ejemplo para los transformadores tipo seco de capacidades mayores a 112.5 kVA deben instalarse en un cuarto de transformadores resistente al fuego (art. 450-21, (b)). Para los transformadores con aceite aislante, se requiere que se instalen en una bóveda especial (450-26), sin embargo esto no se realiza, a lo mucho se coloca un muro hecho de tabicón para separarlos. En la figura 2.27 se muestra un caso en donde se instaló un transformador con líquido aislante inmediatamente a los gabinetes de la subestación.

2.7.3.3 Planta generadora de energía eléctrica.

Según el artículo 700 de la NOM-001-SEDE-2005 define a los sistemas de emergencia como “aquellos requeridos por la ley y clasificados como emergentes por reglamentaciones, decretos o legislaciones federales o municipales vigentes”.

Partiendo de esta definición y de acuerdo a lo establecido en el capítulo I y en la distribución de luminarios, receptáculos y de fuerza, el sistema requiere de una planta generadora de energía eléctrica para sistema de emergencia en servicio continuo, que como ya se mencionó puede suministrar energía a toda la carga instalada o demandada, pero para ilustrar este trabajo solo soporta cierta carga. En los siguientes párrafos se definirá el procedimiento de cálculo de la capacidad de la planta, así como sus características más importantes.



Figura 2.27 Transformador en aceite sin bóveda divisoria.

- Cálculo de la capacidad de la planta generadora:

Considerando las mismas cargas que para el transformador se tiene:

$$kW_{P.E} = M_E + A_E + R_E \dots\dots\dots (2.48)$$

Donde:

- M es la carga total de fuerza en emergencia del sistema y se obtiene de la siguiente manera:

$$M_E = [(HP \times 0.746 \times F_D) / E_f] + (kW \times F_4) \dots\dots\dots (2.49)$$

Se observa que esta ecuación es general ya que puede darse el caso de tener toda la carga en HP o toda en kW, además que el valor de $F_4 = F_D$ y E_f es la eficiencia de los motores (puede ser dato de fabricante o se estandariza a 0.86) y el F_D es el que se obtiene por cálculo o proporcionado por el cliente.

- A es la carga total de iluminación en emergencia del sistema y se obtiene de la siguiente manera:

$$A_E = kW \times F_D = kVA \times F_D \times F.P.I. \dots\dots\dots (2.50)$$

Sabiendo que F.P.I. es el factor de potencia general de alumbrado (0.95 si los luminarios cuentan con balastro electrónico de alto factor de potencia) y el F_D el mismo que el anterior.

- R es la carga total de receptáculos y cargas pequeñas en emergencia.

$$R_E = kW \times F_D = kVA \times F_D \times F.P.R. \dots\dots\dots (2.51)$$

Sabiendo que F.P.R. es el factor de potencia general de receptáculos (0.90 como parámetro supuesto de diseño o el que el propietario indique) y el F_D el mismo que el anterior.

Una vez encontrado el valor de la ecuación 2.48 se verifica con las capacidades nominales existentes o las indicadas por los fabricantes, a este valor se le llamará capacidad nominal de la planta generadora de energía eléctrica kW_n . Posteriormente se determinará el factor de carga o factor de utilización de la planta, por medio de la siguiente ecuación:

$$F_C = F_U = \frac{kW_{P.E.}}{kW_n} \times 100\% \dots\dots\dots (2.52)$$

La instalación de la planta generadora de energía eléctrica debe cumplir con lo establecido en el artículo 700, además de las recomendaciones por parte del fabricante. Algunas de estas recomendaciones son:

- Ventilación para evitar recirculación de gases.
- Recomendaciones sobre el flujo de combustible.
- Tiempos de trabajo en diversos modos de operación del equipo (Servicio continuo, modo prime, modo standby).
- Medidas reales de los equipos.
- Recomendaciones de cimentaciones y sistema mecánico.
- Notas de instalación de los tableros de transferencia.

2.7.3.4 Equipos eléctricos.

a. Capacitores:

Uno de los problemas que presentan las instalaciones eléctricas de centros comerciales es el incremento de “armónicos” provocadas por cargas no lineales entre otros aspectos dan como resultado el cobro excesivo en el consumo de energía ya que la compañía suministradora cobra una multa por tener un bajo factor de potencia.

De acuerdo a estas necesidades, el sistema eléctrico debe contar con elementos que ayuden a reducir estas pérdidas y pagos de más. Estos dispositivos son los capacitores, los cuales proporcionan la potencia reactiva (kVAR) requerida por las cargas inductivas (motores, generadores, etc.). Al corregir el bajo factor de potencia, además del impacto que puede tener en la factura eléctrica, tiene otras implicaciones de igual o mayor importancia, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad. Los capacitores reducen la demanda de kVA debido a que liberan de carga a los transformadores, tableros de fuerza y otros equipos. La demanda reducida de kVA da como resultado que los recibos de la compañía suministradora sean libres de multa, además la temperatura de operación del equipo es más fría y la vida útil del mismo es más prolongada.

Los capacitores como todo equipo eléctrico tienen un tiempo de vida útil que depende de muchos factores, pero para este caso el fenómeno que generan las corrientes armónicas y el circuito propio del banco, pueden resultar agravantes pero que con un modelo aplicable a condiciones extremas se soluciona el problema. Esto es, los capacitores son trayectorias de baja impedancia para las corrientes de armónicas generadas por las corrientes no lineales como los drives de frecuencia variable, arrancadores suaves de motores, PLC's, computadoras, equipo robótico, soldadoras y otros equipos electrónicos. Estas corrientes pueden ser absorbidas en el capacitor causando que éste se sobrecaliente, acortando su tiempo de vida y posiblemente hasta evitando su correcta operación. Por otra parte el circuito resonante que muchos capacitores contienen, el cual está formado por el acoplamiento paralelo de los capacitores con la inductancia del sistema, puede amplificar las corrientes y tensiones armónicas, lo cual puede causar la incorrecta operación del fusible y/o dañar el equipo.

En conclusión el contar un banco de capacitores o más, resulta ser muy benéfico para la instalación eléctrica, siempre y cuando esté bien diseñado y que cumpla con los requerimientos del sistema. A continuación mostramos un ejemplo de la selección de un banco de capacitores de acuerdo a la corrección del factor de potencia.

Las instalaciones con capacitores deben cumplir con lo establecido en el artículo 460 de la NOM-001-SEDE-2005 y con las recomendaciones de los fabricantes.

Suponiendo que nuestro sistema presenta un factor de potencia de 0.70 y por lo tanto pago de multa. Se requiere obtener un factor de potencia de 0.95 (factor de potencia corregido) con una potencia consumida de 149 kW a 480 V_{ca}. Entonces, la potencia reactiva del banco será:

$$Q_C = kW \times f_{cc} \dots\dots\dots (2.53)$$

Donde el f_{cc} es el factor de multiplicación del capacitor corregido, obtenido por tablas de fabricantes (por ejemplo, Square d, capítulo 17 tablas de compendiado No.31) en donde es el resultado de la intersección del factor de potencia existente (o calculado) y el factor de potencia corregido.

Entonces:

$$Q_C = 149 \times 0.691$$

$$Q_C = 103 \text{ [kVAR]}$$

Finalmente, el banco deber ser trifásico de 120 kVAR a 480 V_{ca} automático para corregir el factor de potencia de 0.70 a 0.95.

b. Tableros:

Los tableros son un elemento indispensable en el sistema eléctrico, de ellos depende la distribución de los circuitos alimentadores y derivados. Para el caso de la subestación, se requieren tableros en baja tensión que sean acoplados a los transformadores de media, así como el tablero (os) para servicios propios de la casa de máquinas.

Un error muy recurrente en las instalaciones es que los servicios propios de la subestación, tales como iluminación, receptáculos, aire acondicionado, etc., se conectan directamente a los circuitos de las otras áreas, originando una funcionalidad incorrecta (art. 924-5 (b)). Además estos deben cumplir con lo indicado en el artículo 924-9.

En lo que respecta a los tableros que se acoplan a los transformadores, deben ser con características acorde a la tensión de operación, existen del tipo autosoportados o y de sobreponer. Si son autosoportados pueden estar constituidos por módulos o simplemente por interruptores derivados. Los tableros autosoportados por módulos presentan ventajas considerables respecto a los del tipo interruptor; ventajas como colocar equipo de monitoreo y control, equipo contra sobretensiones (TVSS), entre otros. También ventajas de interconexión con otros tableros o transformadores, bloque mecánico, etc., sin embargo representan un costo más alto, la decisión es a criterio.

2.7.3.5 Accesorios y pruebas.

Los accesorios de una subestación son el complemento de un buen diseño. Estos elementos en conjunto con las pruebas y restricciones, disponen la seguridad de las personas dentro y fuera de la subestación. Los accesorios más comunes y necesarios son:

- Tarimas aislantes con dimensiones (largo, ancho y altura respectivamente), fabricadas con Gel Coat translúcido y refuerzo de fibra de vidrio con doble acabado para el nivel de voltaje de media tensión que corresponda al proyecto eléctrico definitivo y aprobado; el número de tarimas variará de acuerdo al diseño de la subestación (art. 924-24).

- Gabinete de seguridad conteniendo: guantes, casco, botas, pértiga, 3 fusibles de respaldo y tenazas para cambiarlos, todo este equipo de la capacidad indicada en proyecto.
- Un extinguidor de polvo químico para combatir incendios en equipos eléctricos 9.1 kg de capacidad (art. 924-8)
- El contratista general construirá en las subestaciones una base de concreto adecuada para soportar el peso de los gabinetes y con una altura de 10 cm como mínima, sobre N.P.T. y con la pendiente hacia el exterior.
- Leyendas de advertencia o de peligro (art. 924-7).



Figura 2.28 Leyenda de peligro en puerta de subestación.



Figura 2.29 Montaje de extintor en subestación.

Las pruebas a los equipos y a toda la instalación eléctrica, deberán de hacerse antes de que se entreguen para su operación. Las más representativas son:

- Resistencia de la red de tierras.
- Resistencia de electrodos.
- Resistencia de aislamiento.
- Polaridad de las conexiones.
- Continuidad de las canalizaciones.

En los siguientes capítulos estudiaremos los sistemas de puesta a tierra y el estudio de corto circuito, haciendo referencia a los circuitos derivados, alimentadores y subestación eléctrica complementando el desarrollo de la instalación vista hasta el momento.