



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE ILUMINACIÓN E
INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN CENTRO DE ATENCIÓN A
LA SALUD

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

VICTORIANO RAMÍREZ FLORES

ASESOR: ING. JOSÉ JUAN RAMÓN MEJÍA ROLDÁN



MÉXICO 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico la culminación de este trabajo
A las personas más valiosas que me dieron la
Vida y su sabiduría . . . Mi Mamá y Mi Papá.
GRACIAS

Expreso mi agradecimiento a mis hermanos
Y a todas las personas que directa o indirectamente
Me brindaron su apoyo, además de
Sus consejos y conocimientos.

Finalmente a Víctor y Carolina,
Mis hijos, que reforzaron mi determinación
Para continuar y concluir este objetivo.
A Mary, mi esposa, su cariño y apoyo incondicional.
Y . . . a Victoriano, porque no dejó que se
Perdiera en el aire esta oportunidad.

DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE ILUMINACIÓN
E INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA UN
CENTRO DE ATENCIÓN A LA SALUD

	PÁGINA
ÍNDICE	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO	
PARTE 1. ILUMINACIÓN	7
1.1. Introducción	7
1.2. Definiciones y Unidades	7
1.3. Tipos de Lámparas	9
1.4. Luminarias	11
1.5. Métodos de Cálculo de Iluminación	13
a) Alumbrado Interior	13
b) Alumbrado Exterior	16
1.6. Consideraciones de la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado	20
PARTE 2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS. BAJA TENSIÓN	21
2.1. Introducción	21
2.2. Determinación de Cargas y Selección de Circuitos. Normal. Emergencia.	21
2.3. Tableros de Distribución. Alumbrado. Contactos. Fuerza. Aislados	22
2.4. Conductores Eléctricos. Cálculo	23
2.5. Canalizaciones y Registros de Conexión. Cálculo	25
2.6. Protecciones Eléctricas	26
2.7. Sistemas alternos de Energía Eléctrica (Emergencia). Capacidad y Cálculo	29
PARTE 3. INSTALACIONES ELÉCTRICAS. MEDIA TENSIÓN. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	31
3.1. Introducción	31
3.2. Definiciones de los Equipos de la Subestación	31
3.3. Determinación de la Capacidad del Transformador. Cálculo	32

3.4. Determinación de la Capacidad de los Fusibles del Interruptor Principal de la Subestación. Cálculo	33
3.5. Naturaleza de las Corrientes de Corto-Circuito en la selección de Interruptores.	36
3.6. Sistema de Tierras	43
PARTE 4. DESARROLLO (Memoria Tipo)	61
4.1 Memoria Técnica y descriptiva.	61
4.1.1. Proyecto Hospital 30-60 Camas.	61
4.1.2. Introducción.	61
4.1.3. Propuesta.	61
4.1.4. Descripción de Servicios.	61
4.1.5. Descripción General de la Instalación Eléctrica.	61
4.2. Memoria de Cálculo.	61
4.2.1. Cálculo de Iluminación.	61
4.2.2. Cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado.	63
4.2.3. Cálculo de componentes de Instalación Eléctrica.	65
4.2.3.1. Cálculo de Conductores, Protecciones y Canalizaciones.	65
4.2.4. Cálculo de Corto Circuito.	70
4.2.5. Cálculo de Sistema de Tierras.	77
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXO A. Cuadros de Cargas; Diagrama Unifilar General; Diagramas.	82
APENDICE A. Niveles de Iluminación recomendados en México.	83
APENDICE B. Tablas.	85
APENDICE C. Relación de Normas, Leyes y/o Reglamentos aplicables a la IE.	95
APENDICE D. Grados de Protección de Envoltentes para Equipo Eléctrico.	96

INTRODUCCIÓN

La Innovación y el cambio de la Tecnología plantean un conjunto de inquietudes relacionadas con el desarrollo, la comercialización, la difusión y la adaptación de los nuevos conocimientos técnicos en el área de energía eléctrica.

Por lo que la Iluminación y las Instalaciones Eléctricas, objeto específico de ésta Tesis, deben ser proyectadas considerando, las necesidades propias del uso del local, así como los problemas para la construcción de éstas, y teniendo como base la Normatividad relacionada aplicable. Contemplar estos aspectos representa seguridad, economía y mayor eficacia tanto en el mantenimiento como en su utilización.

El desarrollo de la presente Tesis se basa en las necesidades de un local para Centro de Atención a la Salud, el cual puede estar constituido por varias áreas y especialidades dependiendo de su tamaño y/o ubicación, y cuyas necesidades se basan en normas aplicables actualizadas, emitidas y/o avaladas por un Organismo encargado de regular el uso eficiente de la Energía Eléctrica.

Entre otras, las áreas y especialidades que constituyen un Centro de Atención a la Salud son:

- Laboratorio Clínico
- Laboratorio de Citología
- Histopatología
- Gabinete de Rayos 'X'
- Tomografía
- Mamografía
- Ultrasonido
- Unidad Quirúrgica
- Tocología
- Tococirugía
- Terapia Intermedia
- Terapia Intensiva
- Inhaloterapia
- Dietología
- Urgencias
- Hospitalización Adultos
- Hospitalización Pediátrica
- Unidad de Rehabilitación
- Servicios Generales
- Unidades Directivas
- Unidades Administrativas
- Acupuntura
- Cardiología
- Cirugía General y Reconstructiva
- Dermatología

- Estomatología de Especialidades
- Gineco-obstetricia
- Medicina de Rehabilitación
- Neumología
- Neurología y Neurocirugía
- Oftalmología
- Oncología
- Otorrinolaringología
- Ortopedia y Traumatología
- Pediatría
- Proctología
- Urología

Y demás.

Considerando lo anterior, por cada una de dichas áreas y especialidades le corresponderá cierto equipo eléctrico además del requerido en áreas comunes como elevadores, motobombas, aire acondicionado, etc.

El objetivo de desglosar el desarrollo de los proyectos de Iluminación y de las Instalaciones Eléctricas es mostrar los pasos y consideraciones mínimos necesarios basados en la Normatividad vigente para la realización y ejecución de los mismos en los Centros de Atención a la Salud (Hospitales) de seres Humanos.

Se propone una solución que no necesariamente es la única, pero que reúne las condiciones para satisfacer dicho objetivo planteado.

Los resultados obtenidos serán mostrados lo más claro posible en tablas y/o diagramas para su mejor comprensión y que además podrán ser confirmados con los mínimos requeridos por la Normatividad vigente.

Así en la parte 1 se mencionan los conceptos y fórmulas relacionados con la Iluminación; en la parte 2 se describen los elementos básicos de la instalación eléctrica de baja tensión, su cálculo y selección; en la parte 3 se hace referencia a los equipos eléctricos de Media Tensión, tales como Subestación Eléctrica y Transformador y en la parte 4 se plantea el desarrollo de los proyectos con una memoria técnica y de cálculo 'tipo' como una forma de resumen en donde se aplican los términos expresados en las partes precedentes. Se incluye un Anexo con diagramas del sistema eléctrico propuesto y al final se presentan Apéndices en los que se insertan tablas de apoyo para selección del tamaño y tipo de conductores, canalizaciones, etc., extraídas de la Normatividad vigente.

PARTE 1. ILUMINACIÓN

1.1. Introducción.

En los inicios de nuestra Era, los hombres realizaban sus actividades a la Luz del Día; posteriormente con el descubrimiento del petróleo y del gas natural como combustibles, son utilizados para producir Luz artificial mediante lámparas (bombillas).

En la actualidad, las áreas bien iluminadas, proporcionan una sensación de comodidad, bienestar, alta eficiencia, mayor productividad y lo más importante Seguridad en las labores desempeñadas por el usuario.

Al existir un Nivel de Iluminación adecuado en el punto de trabajo o en el área donde sea requerido, se logra un ambiente agradable, que estimula al usuario para desempeñar sus actividades de una forma fácil y sencilla o para crear una atmosfera de descanso y tranquilidad.

Por lo anterior la Sociedad Mexicana de Ingeniería en Iluminación A.C., proporciona recomendaciones de los Niveles medios de Iluminación al plano de trabajo para locales con diversas actividades.

1.2. Definiciones y Unidades.

Visión de la Luz: El Ojo. La Luz es lo único que podemos ver.

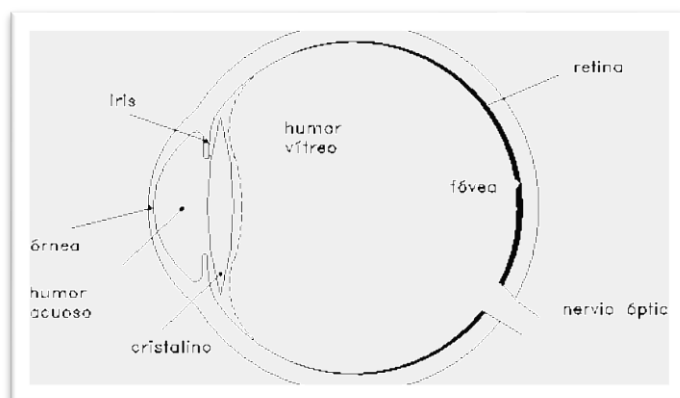


Figura 1.2. Partes del ojo humano

La Luz entra al ojo por la cubierta transparente llamada *córnea*, que produce 70% de la desviación necesaria de la luz antes de que pase por la pupila (que es una abertura en el iris). A continuación la luz pasa por una lente, que solo proporciona la desviación adicional para que las imágenes de los objetos cercanos queden enfocados en la capa que está en el fondo del ojo. Esta capa es la *retina*, y es sensible en extremo. Diferentes partes de la retina reciben luz proveniente de diferentes partes del campo visual exterior. La retina no es uniforme. Hay una mancha en el centro de nuestro campo de visión, que es la *fóvea*. En ella se puede captar mucho mayor detalle que en las partes laterales del ojo. También hay un

lugar en la retina donde los nervios sacan toda la información por el nervio óptico: es el *punto ciego*.

La retina está formada por diminutas antenas que resuenan con la luz que les llega. Hay dos clases de antenas: los bastones y los conos. Hay tres clases de conos: los que se estimulan con la luz de baja frecuencia, los que se estimulan con la luz de frecuencia intermedia y los que se estimulan con luz de mayor frecuencia. Los bastones predominan en la periferia de la retina; en tanto que las tres clases de conos son más densos hacia la fovea. Los conos son más densos en la fovea misma, y como están empacados tan estrechamente, son mucho más finos o angostos, más que en cualquier otra parte de la retina. La visión de los colores se debe a los conos. En consecuencia, percibimos el color con más agudeza enfocando una imagen en la fovea, donde no hay bastones.

En el ojo humano, la cantidad de conos disminuye al alejarse de la fovea. La periferia de la retina es muy sensible al movimiento.

Otra cosa que distingue a los bastones y a los conos es la intensidad de la luz a la que responden. Los conos requieren más energía que los bastones para poder ‘disparar’ un impulso por el sistema nervioso. Si la intensidad luminosa es muy baja, lo que veamos no tiene color. Vemos bajas intensidades con los bastones. La visión adaptada a la oscuridad se debe casi totalmente a los bastones, mientras que la visión con mucha iluminación se debe a los conos.

Un cuerpo luminoso emite luz en forma general de dos formas: a) Es energía transportada por una onda electromagnética; b) En forma de paquetes discretos llamados Fotones (*cuantos. Es la unidad elemental más pequeña de una cantidad*).

Luz Visible. Es radiación electromagnética dentro de determinado intervalo de frecuencias: 4.3×10^{14} a 7×10^{14} vibraciones por segundo (frecuencia mínima visible roja, frecuencia máxima visible violeta); con propiedades de longitud de onda (λ), frecuencia (f) y velocidad ($v = 3 \times 10^8$ m/s).

Hasta ahora el espectro electromagnético conocido está conformado por: Luz y Fuerza, Calor por Inducción, Ondas de radio, Microondas, Infrarrojo, *Luz Visible*, Rayos Ultravioleta, Rayos ‘X’, Rayos Gama, Raros Cósmicos.

Fuente Puntual. Fuente teórica que emite una intensidad luminosa de una candela en todas direcciones.

Candela. Es la intensidad luminosa emitida por una vela de 2.5 cm de diámetro con un pabilo de 0.3 cm ($\frac{1}{8}$ de pulgada).

Intensidad Luminosa. Es la cantidad de luz emitida por una fuente uniforme en una determinada dirección, su símbolo es la letra I y la unidad de medida se expresa en candela (cd). La intensidad luminosa se puede definir también como la relación entre el flujo emitido en una determinada dirección y el ángulo sólido unitario.

Iluminancia. Se denomina iluminancia (E) a la densidad del flujo luminoso incidente en una superficie. Cuando la unidad de flujo es el lumen y el área está expresado en pies cuadrados, la unidad de iluminación es el *Footcandle* (fc). Cuando el área está expresada en metros cuadrados, la unidad de iluminación es el lux (Lx).

Iluminancia Media. Corresponde al promedio de valores de iluminancia medidos o calculados sobre un área determinada.

Luminancia (Brillo). Es la razón entre la intensidad luminosa reflejada por cualquier superficie en una dirección determinada y el área proyectada, vista desde esa dirección (cd/m^2).

Luminancia Media. Es la luminancia promedio, expresada en cd/m^2 , medido en una zona comprendida entre 60 y 100 m frente a la posición del observador.

Flujo Luminoso. El flujo luminoso (Φ) es la relación de cómo fluye la luz respecto del tiempo. La unidad de flujo luminoso es el lumen (lm). Esta unidad lleva consigo el concepto de relación y puede considerarse similar a la relación con la cual otras cantidades fluyen; por ejemplo, galones por minuto, metros cúbicos por hora, etc. De este modo, aunque el tiempo no se indica en la unidad de flujo luminoso, queda implícito en ella dicho concepto.

Rendimiento Luminoso. No toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (bombilla, fluorescente, etc.) se transforma en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc.

El rendimiento luminoso (η) de una fuente de luz es la relación entre el flujo total emitido por esa fuente y el suministro total de potencia de la fuente. En el caso de una lámpara eléctrica, el rendimiento se expresa en lúmenes por watt (lm/w).

1.3. Tipos de Lámparas.

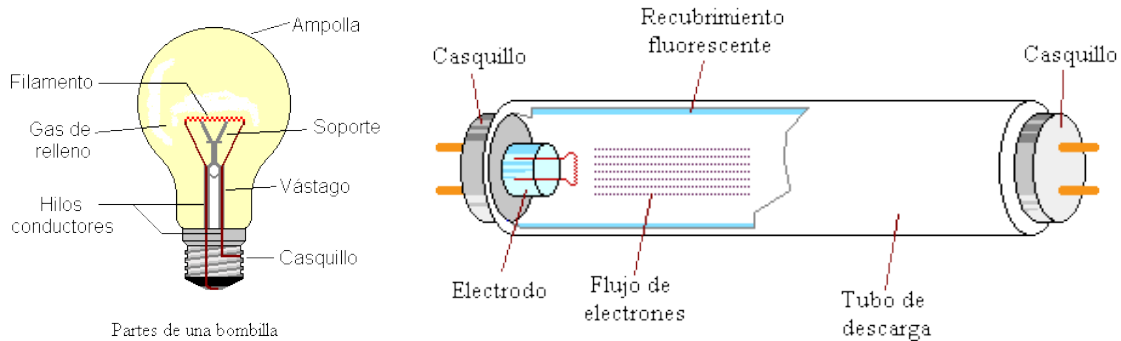
Desde el punto de vista de los arquitectos, Ingenieros y Constructores, predominan dos métodos de generación de luz eléctrica: Incandescencia y Descargas Eléctricas.

Incandescencia. Es simplemente una fuente incandescente que produce luz por incandescencia de un alambre de tungsteno dentro de un bulbo de vidrio. Aproximadamente el 7% de su rendimiento es en forma de energía visible (luz), el resto son radiaciones infrarrojas (calor). Una lámpara de 100 watts produce aproximadamente 16 lúmenes por watt consumido y tiene vida corta (1000 horas promedio).

Descarga Eléctrica. Los más usuales son los fluorescentes y de vapor de mercurio o sodio. Cuando se aplica un voltaje apropiado a las terminales de una lámpara fluorescente, los vapores (gases) dentro del tubo emiten radiaciones ultravioleta (invisibles y nocivos) son convertidos en luz visible e inofensiva al pasar a través de los polvos fluorescentes en la superficie interna de los tubos.

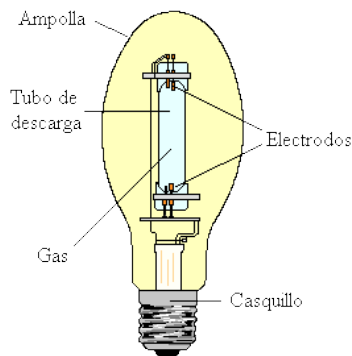
Los inconvenientes de estas lámparas son su gran tamaño físico en relación con su potencia en watts, la necesidad de un reactor que le proporcione una corriente y una tensión adecuada de operación; su alta eficacia luminosa (67 lúmenes por watt promedio), producción de colores y vida más larga (12000 horas promedio) compensan los inconvenientes anteriores.

El tipo de vapor de mercurio o sodio genera la luz directamente de la luminosidad producida por el arco eléctrico; necesitan de un reactor, en el reencendido se invierte tiempo. Sus ventajas son larga vida económica (16000 horas promedio), alta eficacia luminosa (87 lúmenes por watt promedio).

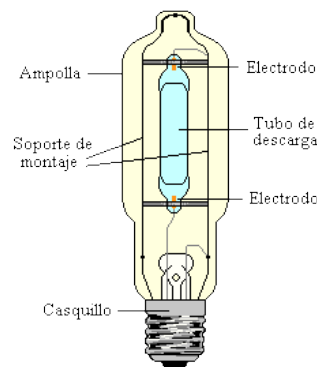


1.3.a Lámpara incandescente

1.3.b Lámpara fluorescente



1.3.c Lámpara de descarga (mercurio, sodio) metálicos



1.3.d Lámpara de halogenuros

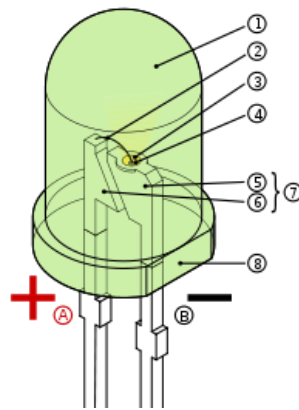
LED.

Un LED (de la sigla inglesa LED: light-emitting diode, que significa «diodo emisor de luz») es un diodo semiconductor que emite luz. Cuando un LED se encuentra en polarización directa, los electrones pueden recombinarse con los huecos en el dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz (correspondiente a la energía del fotón) se determina a partir de la banda de energía del semiconductor.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes.

Actualmente el uso de LED's en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) es moderado y es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED's presenta indudables ventajas: fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, vida útil mayor, etc. Asimismo, con LED's se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética). Cabe destacar que el ahorro energético varía entre el 70 y el 90% respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora.

1.3.e LED.



A	Ánodo
B	Cátodo
1	Lente/encapsulado epóxico
2	Contacto metálico
3	Cavidad reflectora
4	Terminación del semiconductor
5	Yunque
6	Plaqueta
7	
8	Borde plano

1.4. Luminarias

Luminaria. Es un aparato destinado para alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares, así como la conexión a la red eléctrica. Y para que realicen eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, que en el diseño de su sistema óptico, se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios.

Las características mecánicas y eléctricas deben ser: solidez, confección en material adecuado a las condiciones de trabajo previstas, además de temperatura, humedad ambiental, otros agentes atmosféricos y facilidad para efectuar los mantenimientos correspondientes.

Desde el punto de vista estético, es importante que las luminarias no desentonen en el medio arquitectónico o ambiente en que están emplazadas, aunque se encuentren sin funcionar.

Las luminarias pueden ser clasificadas según la dirección de la emisión del flujo luminoso (distribución) con respecto al plano horizontal, ver Tabla 1.4.

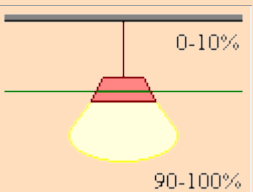
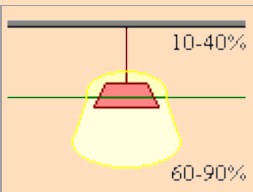
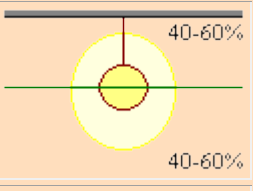
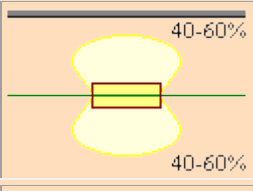
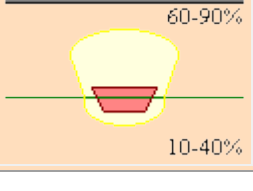
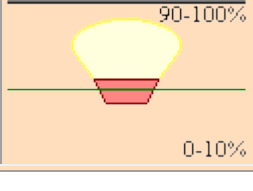
Directa		Semi-directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi-directa		Indirecta	

Tabla 1.4. Clasificación según la distribución de la luz

Otra clasificación de las luminarias puede hacerse por las formas en que se utilizan las propiedades de la luz, esto es:

Difusión, los difusores proporcionan una mayor superficie radiante y con ello, eliminan brillo, reduciendo los efectos del deslumbramiento.

Reflexión, los reflectores concentran el haz luminoso y lo envían en una dirección determinada.

Refracción, los refractores al ser atravesados por el flujo luminoso, cambian la dirección de éste y producen un efecto decorativo.

CURVAS DE DISTRIBUCION.

Antes de diseñar un buen sistema de alumbrado, debemos saber interpretar las representaciones gráficas de las intensidades en distintas direcciones de un luminario y de las fuentes de luz. Para tener una gráfica completa de intensidades consideremos que la fuente luminosa está encerrada en una esfera transparente de radio R , marcada con círculos de latitud y longitud y que una celda fotoeléctrica ha sido colocada en la superficie de la

esfera tomando una lectura en cada punto. Las lecturas así obtenidas representan la iluminación producida sobre la superficie interna de la esfera imaginaria.

Mediante la fórmula de la ‘Inversa de los Cuadrados’, podemos determinar la intensidad en candelas de la potencia lumínica en cada dirección particular en el espacio.

La curva de distribución fotométrica se toma en un solo plano, en lugar de la esfera entera y nos define el rendimiento del luminario únicamente en ese plano.

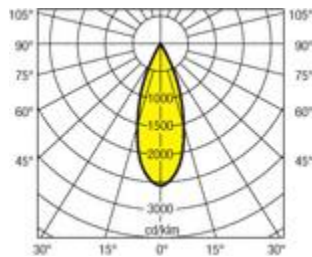


Fig. 1.4.a

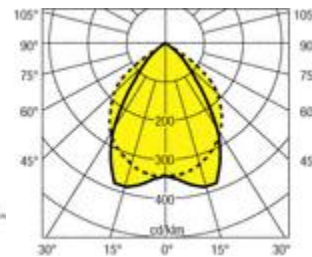


Fig. 1.4.b

Es posible obtener información útil sobre un luminario, solo con el estudio de su curva fotométrica; como calcular los niveles de iluminación o para desarrollar los coeficientes de utilización para determinar el nivel de iluminación promedio sobre un área general.

1.5. Métodos de Cálculo de Iluminación

El proyecto de cualquier instalación de alumbrado implica variables como: Tipo de instalación; Luz para ventas, decoración, general, etc.; Trabajo visual y duración; Limitantes arquitectónicas y decorativas; Consideraciones económicas; etc. Sin embargo, existen ciertas reglas básicas para determinar la Cantidad y Calidad adecuadas.

Cantidad. La distribución de la Iluminación, lo mismo que el Nivel Luminoso, está determinada por la finalidad de la instalación, ya que es conveniente colocar las luminarias de tal manera que den una iluminación uniforme sobre toda el área, haciendo énfasis en el Plano Específico o de Trabajo. (Ver APENDICE A. Niveles de Iluminación).

Calidad. Normalmente es la más difícil de conseguir, ya que intervienen muchos factores como, el Deslumbramiento, las Relaciones de Brillo, la Difusión y el Color entre otros.

Aunado a lo anterior, debe tomarse en cuenta el tipo de Fuentes de Luz (Incandescentes, Fluorescentes o de Descarga, LED, etc.) y la existencia de instalaciones de Aire Acondicionado; así como el Mantenimiento y la Tensión de Alimentación.

1.5. a) Alumbrado Interior

Una vez determinado el tipo de luminarias y el nivel de Iluminación requerido, es posible calcular el número de luminarias necesarias para producir tal iluminación. Para ello nos apoyaremos en los *métodos de cálculo de Los Lúmenes y de Punto por Punto*; siendo el primero por su fácil aplicación en áreas amplias el que proporciona la iluminación media uniforme del local, el que se utilizará para este trabajo; y del segundo (que es el más exacto

en un punto específico, pero más laborioso para áreas amplias) se dará una explicación breve como referencia.

MÉTODO DE CÁLCULO DE LOS LÚMENES

Este método está basado en la definición de Iluminancia (Definición de Lux ó Nivel de Iluminación), que es igual al flujo luminoso (lumen) incidente por unidad de superficie (m^2):

$$\text{Número de Lux} = \frac{\text{lúmenes incidentes}}{\text{Área ó Superficie}} \quad \dots 1.1$$

Conociendo la emisión luminosa inicial de cada lámpara (dato suministrado por el fabricante), el número de éstas y el área, puede calcularse los lúmenes por metro cuadrado generados inicialmente en esa área, sin embargo, este valor se verá afectado debido a factores como la suciedad de las luminarias, la disminución gradual de la emisión de luz, etc.

Al utilizar éste método deben tenerse en cuenta cinco puntos fundamentales:

- Punto 1. El Nivel de Iluminación requerido. (Ver APENDICE A. Niveles de Iluminación)
- Punto 2. El Coeficiente de utilización (C_U). Dato proporcionado por los fabricantes. Es la relación entre los lúmenes que alcanzan el Plano de Trabajo (75 cm sobre el suelo) y los lúmenes generados por la lámpara; el cual contempla la eficacia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y la reflectancias de los muros, suelo y techo. De acuerdo a lo anterior la Relación de la Cavidad del Local será:

$$\text{Relación de la Cavidad del Local} = \frac{5H(\text{largo}+\text{ancho})}{\text{largo}*\text{ancho}} \quad \dots 1.2$$

Donde: H = altura de la cavidad (techo, local ó suelo)

El C_U puede determinarse para la propia relación del local y las reflectancias del muro y techo. (éstos datos son dados por el fabricante de acuerdo al tipo de luminaria seleccionada)

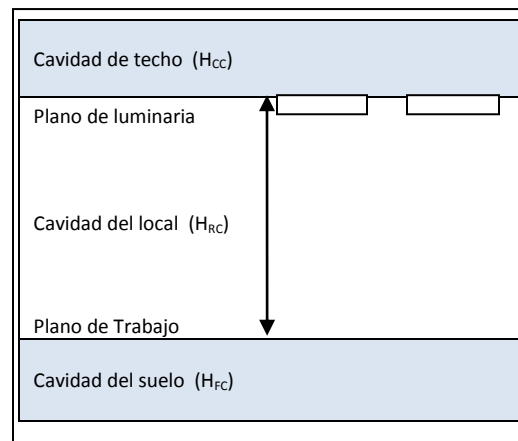


Figura 1.5.a.

- Punto 3. Factor de mantenimiento (de conservación ó de pérdidas de luz) (F_m). El factor final es el producto de factores parciales de pérdidas y los más representativos son:

- a) Características de funcionamiento de las luminarias (90% promedio). Reactancia, Tensión de alimentación, Temperatura ambiente, etc.
- b) Degradación luminosa de la lámpara. La gradual reducción de la emisión luminosa viene dado generalmente como la relación entre la emisión luminosa de la lámpara cuando ha transcurrido el 70 % de su vida nominal y el valor inicial (a las 100 horas) de dicha emisión (dato proporcionado por el fabricante).
- c) Disminución de emisión luminosa por suciedad (90% promedio) (dato proporcionado por el fabricante). Este factor varía con el tipo de luminaria y el ambiente en que trabaja.

Por lo que:

$$\text{Nivel en Lux} = \frac{\text{lumenes por lámpara} \times \text{Lámparas por Luminaria} \times \text{Cu} \times \text{Fm}}{\text{Área ó Superficie por Luminaria}} \dots 1.3$$

Punto 4. Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas.

$$\text{Número de Lámparas} = \frac{\text{Nivel luminoso en lux} \times \text{Área ó Superficie}}{\text{lumenes por lámpara} \times \text{Cu} \times \text{Fm}} \dots 1.4$$

$$\text{Número de Luminarias} = \frac{\text{Número de lámparas}}{\text{Lámparas por Luminaria}} \dots 1.5$$

Punto 5. Fijación del emplazamiento de las luminarias. La colocación de las luminarias depende de la arquitectura general y dimensiones del edificio para conseguir una distribución uniforme de iluminación sobre una zona o Plano de Trabajo. Por lo general, las distancias entre las luminarias se determinan dividiendo la longitud del local entre el número de luminarias de una fila, dando una tolerancia de ½ de dicha distancia entre la pared y la primera y última luminaria; de igual manera se determina para el ancho del local.

Con apoyo en los puntos anteriores se calculará el número de luminarias necesarias para obtener el Nivel de Iluminación óptimo en las diferentes zonas del proyecto propuesto. (Ver Memoria de cálculo en capítulo Desarrollo)

METODO DE CALCULO PUNTO POR PUNTO.

Para predecir la iluminación sobre una tarea visual específica se utiliza normalmente los cálculos Punto por Punto; dicha iluminación consta de dos componentes, una iluminación directa y la otra reflejada (Vertical y Horizontal), debido al flujo reflejado desde las superficies del local hacia la zona de trabajo. La primera se calcula utilizando un sistema de coordenadas angulares; la reflejada puede determinarse empleando una forma ligeramente modificada respecto al método de los Lúmenes.

Todos los métodos de cálculo de la iluminación Punto a Punto requieren un conocimiento del modo como se distribuye la luz de las fuentes de diferentes formas y dimensiones.

1. Fuente Puntual. La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (Ley de la Inversa de los Cuadrados).
2. Fuente lineal de longitud infinita. La iluminación es inversamente proporcional a la distancia (Ley de la Inversa de los Cuadrados).
3. Fuente superficial de área infinita. La iluminación *no cambia* con la distancia.
4. Haz paralelo de luz. iluminación *no varía* con la distancia.

1.5.b) Alumbrado Exterior

El alumbrado exterior es, sin duda, una de las aplicaciones más habituales e importantes de la iluminación, ya que tiene como objetivo principal tanto la seguridad visual como la seguridad física de las personas.

La posibilidad de realizar actividades más allá de los límites naturales ha abierto un abanico infinito de posibilidades desde iluminar calles y vías de comunicación hasta aplicaciones artísticas, de recreo, industriales, etc.

Lo que se expone enseguida es una guía general para determinar el Nivel de Iluminación óptimo en las áreas exteriores, pero de ninguna manera se deberá tomar como una regla, ya que para cada tema (carreteras, calzadas, parques, jardines, fachadas históricas ó contemporáneas, plazas, estacionamientos abiertos, etc.) requieren de un estudio minucioso, en el cual intervienen puntos particulares que si bien en un tema pueden ser los idóneos y que esos mismos para otro tema darían resultados poco o nulos satisfactorios.

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de exteriores existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo:

Iluminancia. La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie.

Luminancia. La luminancia, es una medida de la luz que llega al ojo procedente de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos.

Criterios de calidad. Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la *luminancia media* (L_m , L_{AV}), *los coeficientes de uniformidad* (U_0 , U_L), *el deslumbramiento* (TI y G) y *el coeficiente de iluminación de los alrededores* (SR).

Coeficientes de uniformidad. Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en el exterior se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad.

Deslumbramiento. Es el producido por las farolas o los reflejos, es un problema agudo por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama deslumbramiento molesto a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega al ojo es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Tabla 1.5.b.1.

Donde G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación. Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto.

Coficiente de iluminación en los alrededores (Surround Ratio, SR). Es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes para que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles.

Lámparas y luminarias. Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, y en particular, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión. Aunque el desarrollo de la tecnología de los semiconductores (LED) está teniendo mayor aplicación, no podemos descartarla de que sea uno de los protagonistas en este tipo de alumbrado.

Las luminarias son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar

montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

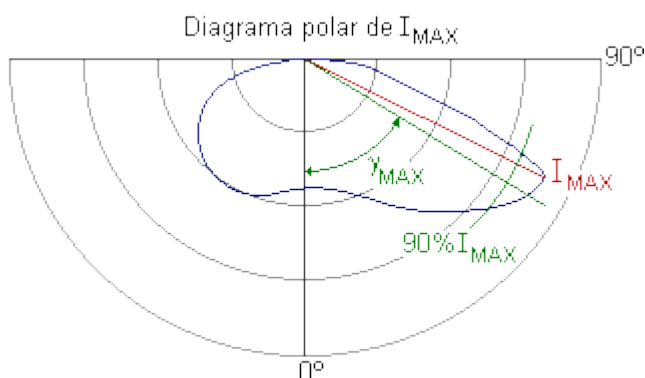
Anteriormente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semi cut-off y non cut-off.

	Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Dirección de la intensidad máxima
	80 °	90 °	
Cut-off	≤30 cd /1000 lm	≤10 cd /1000 lm	≤65 °
Semi cut-off	≤100 cd /1000 lm	≤50 cd /1000 lm	≤75 °
Non cut-off	> 100 cd /1000 lm	> 50 cd /1000 lm	≤90°

Tabla 1.5.b.2. Clasificación para luminarias de alumbrado público

Actualmente, las luminarias se clasifican según tres parámetros (*alcance*, *dispersión* y *control*) que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

El *alcance* es la distancia, determinada por el ángulo γ_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar (alumbrado público) la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.

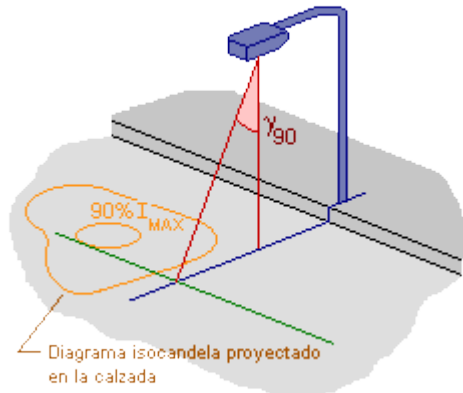


Alcance longitudinal

Figura 1.5.b.1.

Alcance corto	$\gamma_{MAX} < 60^\circ$
Alcance intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{MAX} \leq 70^\circ$
Alcance largo	$\gamma_{MAX} > 70^\circ$

La *dispersión* es la distancia, determinada por el ángulo γ_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



Dispersión transversal

Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45^\circ$
Dispersión media	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Figura 1.5.b.2.

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal.

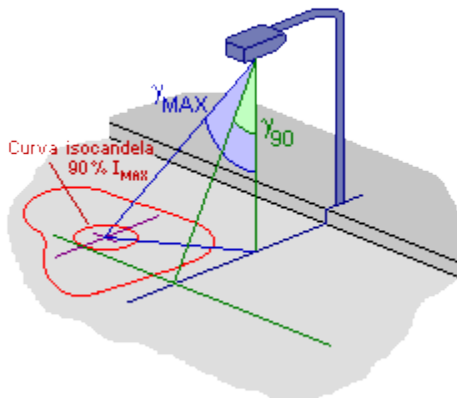


Fig. 1.5.b.3. Alcance y dispersión de una luminaria

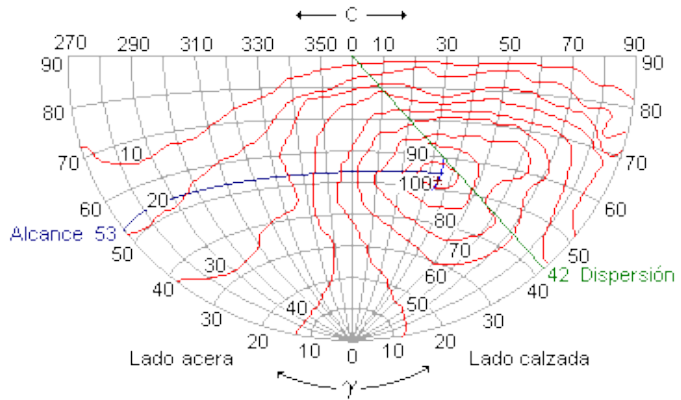


Fig. 1.5.b.4. Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión

Por último, el *control* nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Control limitado	SLI < 2
Control medio	$2 \leq \text{SLI} \leq 4$
Control intenso	SLI > 4

Donde SLI (índice específico de la luminaria) se calcula a partir de las características de ésta.

Disposición de las luminarias. Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta de las características de los exteriores. Así por ejemplo, en curvas es recomendable situar las luminarias en el exterior de la misma, en tramos rectos colocarlas en forma: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada ó también es posible suspenderlas de un cable transversal pero sólo en calles muy estrechas.

Para otros exteriores como parques, jardines, arquitectónicos, etc., la disposición será específica dependiendo del caso que se trate.

Niveles de iluminación recomendados. Los niveles de iluminación recomendados dependen de las normas en vigor y de la aplicación específica.

1.6. Consideraciones de la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado.

Los edificios constituyen en su conjunto un gran usuario de energía eléctrica y presentan oportunidades para el ahorro de energía en sistemas de fuerza e iluminación; y éstos últimos en los edificios no residenciales son una parte importante del total del consumo, y en ocasiones de la demanda, así como del costo total de dicha energía.

Los costos de operación de un edificio construido bajo ciertos criterios de eficiencia energética son sustancialmente menores a lo largo de la vida útil comparados con uno ineficiente.

Para comparar la eficacia de un sistema de iluminación bajo diferentes condiciones se desarrolló el concepto Densidad de Potencia por Unidad de Superficie, el cual indica la potencia total utilizada en sistemas de alumbrado por unidad de superficie con unidad de watt por metro cuadrado (W/m^2).

Los W/m^2 nos permiten comparar que fuentes de luz son más eficaces, además de determinar si el sistema de alumbrado ha sido diseñado eficientemente. Un alto valor de *densidad de potencia* indica un pobre diseño.

Por lo tanto es necesario establecer los niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica en estas instalaciones; para lo cual se debe utilizar el método de cálculo *Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA)*, cuya fórmula genérica es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada de Alumbrado}}{\text{Área total Iluminada}} \left(\frac{\text{Watts}}{m^2} \right) \quad \dots 1.6$$

Esta expresión es utilizada para determinar valores tanto para áreas interiores de los edificios como de áreas exteriores y/o vialidades. (Ver Memoria de cálculo en capítulo Desarrollo)

PARTE 2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS. BAJA TENSIÓN

2.1. Introducción

Actualmente todo edificio o estructura requiere de una de las principales formas de funcionamiento, si no es que es la más importante, la Instalación Eléctrica; ya que sin ésta no se pueden operar otros elementos como luminarias, equipos eléctricos y electrónicos, motores, bombas, etc.

La Instalación Eléctrica es un conjunto de elementos necesarios para el suministro de la Energía Eléctrica, que están sujetos a Códigos, Normas y Reglamentos, que establecen los requisitos mínimos de seguridad, técnicos y de suficiencia, para el proyecto y construcción de la misma.

Por otra parte, de acuerdo al uso que se le dé al local se tendrá el tipo de instalación eléctrica (Oculta, Visible, de Explosión, etc.), donde se podrán ejecutar los trabajos para las modalidades de Servicio Normal (compañía suministradora) y/o de Servicio de Emergencia (Fuentes Alternas: Motor-Generador o Sistema de Energía Ininterrumpible UPS).

2.2. Determinación de Cargas y Selección de Circuitos. Normal, Emergencia.

Un circuito derivado es la parte de una instalación eléctrica que se extiende después del último dispositivo de protección (sobrecarga y/o cortocircuito) hasta alimentar a los aparatos eléctricos y/o electrónicos.

La normatividad vigente establece recomendaciones para que los circuitos derivados estén determinados en función de un tipo homogéneo de carga eléctrica, por ejemplo, luminarias, receptáculos (aparatos eléctricos, equipos electrónicos), motores, bombas, etc. A su vez, estos circuitos se consideran de acuerdo a su función específica en la modalidad de servicio Normal o de Emergencia.

Para determinar la carga eléctrica de un circuito derivado debe apoyarse tanto en las normas actuales como en la flexibilidad que se necesite dar al funcionamiento del área o zona por controlar o proteger, ya que pueden ser monofásicos (una fase), bifásicos (dos fases) y trifásicos (tres fases).

Los circuitos derivados destinados al servicio de emergencia son los que se ubican en zonas críticas donde es necesario y fundamental tener energía eléctrica continuamente y en las rutas de evacuación para una pronta salida del edificio en caso de siniestro. Dependiendo de lo anterior, será de apoyo para determinar la capacidad del Sistema de Energía Eléctrica de Emergencia, como se verá más adelante.

2.3. Tableros de Distribución. Alumbrado y/o Receptáculos. Fuerza. Aislados

Los Tableros de Distribución son equipos concentradores de circuitos derivados, con características eléctricas específicas cuya selección deberá tener en cuenta el sistema de alimentación, tamaño (número de circuitos derivados), tipo de construcción y la más importante, la carga por alimentar.

El sistema de alimentación de los tableros puede ser monofásica (127 V, una fase-dos conductores), bifásica (220/127V, dos fases-tres conductores) y trifásica (220V, tres conductores; 220/127V, tres fases-cuatro conductores).

El tamaño del tablero dependerá de las zonas ó áreas que se quieran controlar ó proteger con cada circuito derivado, para tener flexibilidad en cuanto a manipulación, utilización y mantenimiento de la instalación eléctrica.

El tipo de construcción será determinada por la seguridad de las personas y el tipo de instalación eléctrica del edificio; para usos generales NEMA 1, para ambientes húmedos ó mojados y especiales NEMA 3R, 4R, 12R y para Sistemas Aislados los requeridos por la normatividad vigente en áreas específicas dentro de los Centros de Atención a la Salud.

Para el tema en desarrollo debe tratarse de manera muy especial lo relativo a los Sistemas Eléctricos Aislados No Aterrizados (Tableros de Aislamiento) aplicados normalmente a las áreas críticas del Centro de Atención a la Salud (Hospitales) como son las Salas de Cirugía, Salas de Expulsión y/o Áreas de Terapia Intensiva principalmente.

Un Sistema Eléctrico Aislado es un sistema integrado: por un Transformador de Aislamiento, un Monitor de Aislamiento de línea, dispositivos para desconexión y protección, envolventes, panel o tablero de los circuitos derivados No puestos a tierra.

El transformador de aislamiento es un transformador del tipo multidevanado, con los devanados primario y secundario acoplados sólo inductivamente, físicamente separados con una pantalla electrostática integrada entre ellos.

El Monitor de Aislamiento de línea es un instrumento de medición diseñado para comprobar continuamente la impedancia balanceada y desbalanceada de cada línea de los circuitos aislados a tierra, equipado con un circuito interconstruido para probar la alarma, sin incluir la corriente peligrosa de fuga del sistema aislado.

En la vecindad del paciente especialmente dentro de las salas de cirugía (Quirófanos) se debe evitar que existan corrientes peligrosas entre los equipos electromédicos, los equipos metálicos, los médicos y sobre todo con el paciente.

Para lograr lo anterior, se debe tener:

- Aislamientos especiales en todos los conductores, incluso el de tierra.
- Una red de tierra distribuida para hacer un sistema equipotencial.
- Sistema eléctrico no aterrizado para evitar circulación de corriente por tierra.

2.4. Conductores Eléctricos. Fórmulas para Cálculo.

Uno de los elementos principales de una instalación eléctrica, es el conductor eléctrico, cuyo material ofrece poca resistencia al paso de la corriente eléctrica. Tales materiales son oro, plata, cobre, aluminio, entre otros; siendo el cobre y el aluminio los más utilizados en ese orden por sus características de conductividad y costo.

Estos conductores están recubiertos de materiales *Aislantes* Termo-fijos, Termoplásticos, Resina ó Papel. Un material Aislante es toda sustancia de muy baja conductividad que el paso de la corriente eléctrica a través de ella es prácticamente despreciable, con características propias de rigidez dieléctrica, resistividad, factor de potencia y constante dieléctrica.

Los materiales aislantes comunes son: Hule Natural; Hule SBR o GRS; Hule Butilo; Policloropreno –Neopreno-; Polietileno Clorosulfonado –CP, HYPALON, CSPE- (RHH, RHW); Polietileno Clorado –CPE- (HPN); Policloruro de Vinilo –PVC, PVC-RAD- (T, TW, THW, THHN, THWN, THHW, THHWLS), Polietileno (PE), Polietileno de Cadena Cruzada –XLPE Ó XLP-; Etileno Propileno –ERP o EP-. (Ver tabla 310-13 Conductores-Aislamientos y usos en Apéndice B)

Fórmulas para Cálculo de Conductores.

El tamaño del conductor de un circuito eléctrico se determinará por los criterios de Capacidad de Conducción de Corriente nominal (I_n); por la Sección Transversal del Conductor y comprobando por Caída de Tensión; corrigiendo ésta (I_c) por el Factor de Agrupamiento (F_A) y de Temperatura ambiente (F_T), (seleccionando el más crítico).

Por Capacidad de Conducción de Corriente.

Para calcular la corriente eléctrica se utilizarán las siguientes ecuaciones, dependiendo del sistema eléctrico del que se trate.

$$\text{Sistema Monofásico a 2 hilos se tiene: } I = \frac{W}{V_n * \text{Cos}\phi} \quad \dots 2.1$$

$$\text{Sistema Monofásico a 3 hilos (bifásico), se tiene: } I = \frac{W}{2 * V_n * \text{Cos}\phi} \quad \dots 2.2$$

$$\text{Sistema Trifásico a 3 y 4 hilos, se tiene: } I = \frac{W}{\sqrt{3} * V_f * \text{Cos}\phi} \quad \dots 2.3$$

$$\text{Corriente corregida (Ic): } I_c = I_n / (F_A * F_T) \quad \dots 2.4$$

Donde:

- W = Carga total instalada en (Watts)
- V_n = Voltaje al neutro en [Volts]
- V_f = Voltaje entre fases en [Volts]
- $\text{Cos}\phi$ = Factor de potencia (FP) = 0.9
- F_A = Factor de Agrupamiento (%)
- F_T = Factor de Temperatura (%)

Sección Transversal Del Conductor

Para éste cálculo se utilizó datos como son I_c , V_n , L y $\%e$; éste último se supone un valor dado el cual no debe exceder del 5% entre el alimentador principal y los circuitos derivados.

$$\text{Sistema monofásico a 2 hilos:} \quad S = \frac{4 * L * I}{V_n * \%e} \quad \dots 2.5$$

$$\text{Sistema monofásico a 3 hilos (bifásico) y trifásico a 3 y 4 hilos:} \quad S = \frac{2 * L * I}{V_n * \%e} \quad \dots 2.6$$

Regulación (Caída) De Tensión

Una vez determinado el calibre del conductor eléctrico por conducción de corriente, se analizará por el método de regulación de tensión:

$$\text{Sistema monofásico a 2 hilos:} \quad \%e = \frac{4 * L * I}{V_n * S} \quad \dots 2.7$$

$$\text{Sistema monofásico a 3 hilos (bifásico) y trifásico a 3 y 4 hilos:} \quad \%e = \frac{2 * L * I}{V_n * S} \quad \dots 2.8$$

Donde:

- $\%e$: Caída de tensión en el conductor en [%]
- L : Distancia aproximada del centro de carga ó tablero a la última salida del circuito en consideración en [m]
- S : Área de sección transversal del conductor en [mm²]

Factor de agrupamiento (F_A)

Al encontrarse varios conductores en una misma canalización, la ampacidad variará en función del número de éstos debido a que al circular una corriente eléctrica por un conductor existirá un calentamiento que disipará energía calorífica y que será transferida a los adyacentes, elevándose la temperatura, por lo que se afectará dicha ampacidad en función del número de conductores que se encuentren en la misma canalización.

Factor de Temperatura ambiente (F_T)

Este factor está relacionado con el anterior, ya que la variación de la temperatura se debe al calor disipado por los conductores, y en este criterio la variación de la temperatura se debe al medio ambiente en que se instalaran los conductores.

Cabe mencionar que los factores por los que se afectará el tamaño del conductor calculado se encuentran indicados en las Tablas correspondientes a la Capacidad de Conducción de Corriente de Conductores en la Normatividad vigente. (Ver APENDICE B. Tablas)

La selección del tamaño del conductor para circuitos de alumbrado y receptáculos podría no tener mayor dificultad, que la de determinar la corriente nominal del circuito derivado más un factor de seguridad (25%), por las recomendaciones indicadas en la normatividad vigente.

Lo anterior no aplicaría para motores eléctricos y/o equipos de Aire Acondicionado y Refrigeración. Para estos casos el tamaño del conductor será determinado por:

- a) Para un solo motor. Dato de placa en Amperes se determina de forma directa con un factor de seguridad del 25% la corriente nominal; con la capacidad en HP, tendremos que hacer uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes y aplicar lo antes descrito.
- b) Para varios motores. Con datos de placa o su equivalente obtenida con el uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes, se determina la corriente del motor y/o equipo de mayor capacidad con un factor de seguridad del 25%, más la suma de las corrientes de los motores y/o equipos menores.
- c) Para uno o varios motores con cargas combinadas. Con datos de placa o su equivalente obtenida con el uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes, se determina la corriente del motor y/o equipo de mayor capacidad con un factor de seguridad del 25%, más la suma de las corrientes de los motores y/o equipos menores y la obtenida de la carga combinada.
- d) Para Bombas de Protección Contra Incendio, el tamaño del conductor se obtiene, determinando su capacidad de las Tablas de Capacidad de Corriente a Rotor Bloqueado de Motores monofásicos y trifásicos, de la normatividad vigente.

Ver APENDICE B. Tablas 430-151A y B para corrientes a rotor bloqueado de motores monofásicos y trifásicos.

2.5. Canalizaciones y Registros de Conexión. Cálculo

Canalizaciones.

Es otro elemento importante de la instalación eléctrica, ya que su función es la de proteger a los conductores eléctricos contra esfuerzos mecánicos y el medioambiente en toda la trayectoria desde el tablero hasta el punto terminal (salida eléctrica) para el aparato eléctrico o electrónico.

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de canalizaciones abiertas o cerradas, fabricadas con materiales como el acero, el plástico de PVC y el aluminio, entre los más comunes, que dependiendo del uso de la instalación eléctrica (ahogada, visible o ambientes corrosivos) y tipo de edificio, es seleccionado de acuerdo a la flexibilidad de instalación (ejecución) y a las recomendaciones indicadas en la normatividad vigente.

Los tipos más comunes utilizados en las instalaciones eléctricas son:

- I. Tubo conduit flexible: de plástico, de acero engargolado (tipo zapa), de acero engargolado recubierto de PVC (liquidtight).
- II. Tubo conduit rígido: de PVC servicio ligero o pesado, de acero servicio ligero o pesado (pared delgada o pared gruesa).
- III. Ducto cuadrado de lámina de acero y Ducto de aluminio.
- IV. Canaletas de PVC.
- V. Soporte para cables de aluminio, ‘charola’ tipo escalera, de fondo sólido, etc.
- VI. Charola de acero y de PVC tipo malla.

Registros de Conexiones.

El material puede ser de PVC, troquelados de lámina de acero y fundidos de aluminio. Estos elementos desempeñan dos funciones importantes:

- a) Como punto de unión de uno o más tubos conduit, como punto derivación en el cambio de tipo de canalización, como cambio de dirección.
- b) Aquí se llevan a cabo los empalmes o conexiones de derivación para equipos o aparatos eléctricos y/o electrónicos, o simplemente como punto de paso.

Dependiendo del uso de la instalación eléctrica (ahogada, visible o ambientes corrosivos) y tipo de edificio, es seleccionado de acuerdo a la flexibilidad de instalación (ejecución) y a las recomendaciones indicadas en la normatividad vigente.

Cálculo de canalizaciones.

Para la selección adecuada de la canalización se debe tomar en cuenta las disposiciones indicadas al respecto en la normatividad vigente y la práctica lógica de la instalación: como la capacidad de alojamiento del número de conductores, tamaño de los mismos, etc. Lo anterior es para tener ventilación, disipación del calor producido por el calentamiento de los conductores y la facilidad de instalarlos (‘cablear’) en las canalizaciones.

En el desarrollo de la *Memoria Técnica-Descriptiva y de Cálculo* del proyecto propuesto se realizarán algunos cálculos tipo para diferentes canalizaciones. Ver APÉNDICE B. Tablas y apéndice C Tablas de ocupación en tubo de conductores.

2.6. Protecciones Eléctricas.

Durante su funcionamiento, toda instalación eléctrica presenta dos estados de operación:

- Operación Normal. Todos los parámetros del circuito (voltaje, corriente, frecuencia, temperatura de los conductores, etc.) se encuentran dentro de los márgenes previstos
- Operación Anormal. Cuando uno ó más parámetros exceden las condiciones previstas. Dependiendo de lo anterior se pueden clasificar en *perturbaciones o fallas*.

Las *Perturbaciones* son breves alteraciones de los parámetros involucrados, que causan mínimo o nulo daño a la instalación.

Las *Fallas* son debido a situaciones extremas en uno o varios parámetros, el sistema eléctrico no puede seguir operando, poniendo en peligro la vida de las personas, la integridad de la instalación eléctrica y los bienes materiales. Los más comunes son las sobrecargas, los cortocircuitos y las fallas en el aislamiento.

Sobrecarga. Se produce cuando la magnitud del voltaje o la corriente exceden el valor nominal previsto para la instalación. La sobrecarga de corriente produce un calentamiento excesivo de los conductores eléctricos, lo que puede conducir a la destrucción de su aislamiento provocando incluso su inflamación con el consiguiente riesgo para las personas y la propiedad.

Cortocircuito. Es la falla de mayor gravedad en una instalación eléctrica, ya que el nivel de la corriente alcanza valores altos que los conductores eléctricos se funden en los puntos de falla, produciendo calor, chispas, e incluso flamas, generando un alto riesgo de incendio del inmueble.

Falla de Aislamiento. No siempre dan origen a un cortocircuito. En muchos casos una falla de aislamiento en algún equipo eléctrico (tablero, electrodoméstico, etc.) provoca que la parte metálica de dicho equipo se energice, con el consiguiente peligro para la vida de las personas al sufrir una descarga eléctrica.

Debido a lo anterior, es necesario incorporar medidas que protejan a las personas y a los bienes frente a estas fallas, dotando a las instalaciones de un sistema de protecciones destinadas a minimizar los efectos de estas fallas.

Para que esto sea posible, las protecciones deben ser dimensionadas adecuadamente según las características del circuito, siendo las más comunes los Interruptores con Fusibles y los Interruptores Termo-magnéticos.

Fusibles

El Fusible es un hilo conductor de bajo punto de fusión, diseñado para interrumpir la corriente cuando el valor establecido en el punto protegido, es excedido durante un tiempo preestablecido.

Las características de operación de los fusibles, están dadas por las curvas tiempo-corriente y existe una para cada tipo y capacidad de fusible, y éstas muestran el tiempo que el fusible tarda en despejar una falla en función del valor de la corriente.

En la *curva característica* (proporcionada por el fabricante), se distinguen tres zonas, que delimitan la operación del fusible que está protegiendo.

- Zona 1. Zona en condiciones normales de operación.
- Zona 2. Zona bajo condiciones anormales de operación, en situación de sobrecarga.
- Zona 3. Zona bajo condiciones anormales de operación, en situación de cortocircuito.

Los tipos utilizados son: Fusible L, uso doméstico; Fusible M, uso industrial; Fusible R, uso general.

Para dimensionar una protección fusible eficiente y adecuado, es necesaria la siguiente información: a) Intensidad mínima. Corriente mínima de operación (fusión del hilo); b) Tiempo de operación. Tiempo que demora en fundirse y c) Intensidad nominal.

Las ventajas de operación son:

- Alta seguridad de protección
- Pérdidas reducidas (calentamiento)
- Bajo costo de mantenimiento y reposición
- Gran capacidad de ruptura (corriente máxima que puede despejar en un cortocircuito)

Las desventajas de operación son:

- Fácilmente alterables
- Pueden ser ‘reparados’

Termo-magnéticos

Se caracteriza por tener dos tipos de elementos: Térmico y Magnético.

Térmico. Es un bimetal que se dilata con el calor que produce el exceso de corriente, haciendo actuar el mecanismo de apertura del interruptor que desconecta el circuito. Actúa específicamente para sobrecargas, no es instantánea sino que demora un tiempo en actuar por lo que se le define como de ***tiempo retardado***.

Magnético. Formado por una bobina, la cual está conectada en serie con el circuito que se va a proteger; por su rapidez de disparo (desconexión), es utilizada para ‘despejar’ las fallas producidas por cortocircuito.

Además, este tipo de interruptor cuenta con una Cámara de Extinción de Arco.

Selectividad y Coordinación de las Protecciones.

La selectividad de las protecciones es un concepto de extraordinaria importancia, el cual, lamentablemente, no es de aplicación frecuente por parte de los proyectistas en la industria de la construcción.

La selección de la protección para circuitos de alumbrado y receptáculos podría no tener mayor dificultad, que la de determinar la corriente nominal del circuito derivado más un factor de seguridad (25%), por las recomendaciones indicadas en la normatividad vigente.

Lo anterior no aplicaría para motores eléctricos y/o equipos de Aire Acondicionado y Refrigeración. Para estos casos la capacidad de la protección será determinada por:

- a) Para un solo motor. Dato de placa en Amperes se determina de forma directa con un factor por sobrecarga del 15 al 40% la corriente nominal, y por cortocircuito del 25 al 800% la corriente nominal; con la capacidad en HP, tendremos que hacer uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes y aplicar lo antes descrito.
- b) Para varios motores. Con datos de placa o su equivalente obtenida con el uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes, se determina la protección del motor y/o equipo de mayor capacidad, más la suma de las corrientes de los motores y/o equipos menores.
- c) Para uno ó varios motores con cargas combinadas. Con datos de placa o su equivalente obtenida con el uso de las Tablas de Capacidad de Corriente de Motores monofásicos y trifásicos para obtener la corriente en Amperes, se determina la protección del motor y/o equipo de mayor capacidad, más la suma de las corrientes de los motores y/o equipos menores y la obtenida de la carga combinada.
- d) Para Bombas de Protección Contra Incendio, No se requiere protección contra sobrecarga pero sí contra cortocircuito, determinando su capacidad de las Tablas de Capacidad de Corriente a Rotor Bloqueado de Motores monofásicos y trifásicos, de la normatividad vigente. Consultar APÉNDICE B. Tablas. 430-147, 148, 149, 150, 151.A, 151.B, 152.

Para delimitar la falla a la menor área posible, la protección que este más próxima al punto de falla debe operar primero y, si ésta, por cualquier motivo no opera dentro de su tiempo 'normal', la que sigue inmediatamente detrás deberá hacerlo y así sucesivamente.

Debe haber un funcionamiento escalonado, por lo que las protecciones deberán elegirse y ajustarse, de acuerdo a sus curvas características, a lo anterior se le conoce como ***Coordinación de Protecciones***.

Para seleccionar el tipo adecuado de protección de circuitos, ya sea fusible o termomagnética, se debe tener en cuenta en adición a lo anterior, las recomendaciones que se indican en la normatividad vigente.

2.7. Sistemas alternos de Energía Eléctrica (Emergencia). Capacidad y Cálculo.

Un sistema alterno de energía eléctrica es una alimentación, grupo motor-generator o banco de baterías, cuyo objetivo es dar una opción de respaldo al sistema eléctrico 'normal' que proporciona el suministrador municipal, al presentarse un corte de energía eléctrica.

Actualmente existen en el mercado varios tipos de sistemas alternos, cuya implementación depende del uso y tipo de edificación que se requiera respaldar para tener energía eléctrica continua, esto es sin interrupciones, algunos de ellos son:

- Acometida eléctrica. Dos acometidas eléctricas en el mismo predio o edificio.
- Grupo Motor-Generador. Este sistema es el más utilizado en la industria de la construcción, ya que puede ser utilizado como un sistema provisional o como un sistema fijo ubicado dentro de las edificaciones. La Transferencia puede ser Manual o Automática; en los centros de cuidado de la salud, la opción automática es obligatoria y No debe rebasar los 10 segundos para activarse.
- Sistemas de Energía Ininterrumpible (UPS). Este sistema está compuesto básicamente de un banco de baterías, que dependiendo la carga y tiempo a respaldar es el tamaño de este equipo. La carga que usualmente alimenta este sistema, es Equipo de Cómputo, y equipo sofisticado y sensible a las perturbaciones de corriente y/o voltaje de suministro, como es el utilizado en las áreas críticas de los centros de atención a la salud. La Transferencia es Automática e instantánea del orden de milisegundos.

Capacidad.

Como ya se mencionó el sistema alterno más utilizado es el grupo motor-generador el cual deberá de ser determinado con base en dos tipos de cargas; una de ellas, la carga máxima continua conectada que el generador pueda proporcionar y la otra, la carga debida al arranque de los motores. Se deberá de considerar primero la máxima carga continua conectada. Esta carga incluye el alumbrado, la calefacción y las cargas de motores que el generador debe alimentar para operación.

Cálculo.

Para obtener la carga máxima conectada para operación continua del generador se debe considerar la carga previamente seleccionada de los circuitos de alumbrado, receptáculos, equipo de calefacción (resistencias), motores para extracción de aire, motores de equipo de Aire Acondicionado, motores para Bombas hidráulicas, motores para Elevadores, etc. En seguida, considerar la carga total de arranque de los motores que alimentará a un mismo tiempo el generador, tomando la peor condición.

De las dos cantidades resultantes, se toma la mayor y se afecta por un factor de seguridad del 20% más, obteniéndose la carga total cuyo valor deberá seleccionarse a uno comercial.

Es necesario tomar en consideración las cargas generadas por distorsiones de cargas no lineales, por lo que se debe de obtener de los fabricantes, los diseños adicionales a los generadores debido a la presencia de armónicas.

El sistema eléctrico debe diseñarse para que los paros y arranque de los motores durante el funcionamiento del generador, no afecte la operación del equipo de cómputo o sensible debido a caídas de tensión fuera del rango permitido por los fabricantes.

PARTE 3. INSTALACIONES ELÉCTRICAS. MEDIA TENSIÓN. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

3.1. Introducción.

En toda instalación industrial o comercial es indispensable el uso de la energía, la continuidad de servicio y calidad de la energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, por lo que las Subestaciones Eléctricas (SE) son necesarias para este acometido.

Hay varios factores que se deben tomar en cuenta en el diseño de una Subestación Eléctrica por ejemplo, las condiciones ambientales del lugar de instalación (temperatura ambiente, altitud sobre el nivel del mar, clasificación sísmica, etc.), su ubicación debe ser en un área no clasificada como peligrosa, acceso controlado a personal, espacio para maniobras de operación y mantenimiento del equipo, protección contra incendio, niveles de tensión, resistividad del terreno, tipo de instalación, capacidad de corto circuito, entre otros.

Las SE pueden ser primarias o secundarias, que dependen del punto de Acometida Eléctrica y el cuarto donde se alojaran los tableros generales de distribución; las hay para servicio Intemperie o Interior, así como encapsuladas.

3.2. Definiciones de los Equipos de la Subestación

Subestación Eléctrica

Una subestación es un conjunto de elementos, que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el sistema eléctrico, para los equipos y para el personal de operación y mantenimiento. Los elementos más comunes que integran una SE son:

- Transformadores de Corriente y de Potencial para equipo de medición de la Cía Suministradora.
- Seccionador de operación sin carga. En el lado de la acometida, es un medio de desconexión general de operación simultánea, adecuado a la tensión y corriente nominal del servicio; el cual permiten realizar las maniobras del equipo con seguridad.
- Apartarrayos. Es un dispositivo primario de protección, usado en la coordinación de aislamiento. Sus funciones específicas son: 1. Operar sin sufrir daño por tensiones en el sistema y corrientes que circulen por este. 2. Reducir las sobretensiones peligrosas a valores que no dañen el aislamiento del equipo.
- Seccionador de operación con carga. Cuentan con interruptor y fusibles limitadores de corriente de alta capacidad interruptiva de acuerdo a las necesidades de la instalación.
- Buses. Barras colectoras de cobre con capacidad de acuerdo a la carga eléctrica por alimentar.
- Aisladores de resina epóxica.

La SE debe estar diseñada para soportar el paso de dos corrientes:

- a) Corriente Nominal (Máxima) In. Está corriente fija los esfuerzos térmicos que debe soportar la instalación eléctrica en condiciones de operación desfavorables, sirve para determinar la sección de las barras colectoras y las características de conducción de corriente de los interruptores de potencia, cuchillas, T.C.'S, etc.
- b) Corriente de Corto Circuito (Máxima) Icc. Determina los esfuerzos electrodinámicos máximos que pueden soportar las barras colectoras y los tramos de conexión, esta corriente de corto circuito es un parámetro importante en el diseño de la red de tierras de la S.E.

La Icc al circular por los devanados de cualquier transformador produce un incremento brusco de temperatura que degrada los aislamientos y disminuye la vida útil de estos, de tal manera que una sobre tensión posterior aunque sea pequeña puede originar una falla seria en los devanados inclusive su destrucción.

Transformador

Es un aparato estático que transfiere energía de corriente alterna de un circuito eléctrico a otro, mediante dos bobinas de alambre aisladas y montadas en un núcleo magnético y todo sumergido en aceite aislante contenido en un tanque. También se construyen transformadores de tipo seco.

El transformador puede ser utilizado como elevador o reductor de tensión; su capacidad y diseño la determina los parámetros de voltaje, corriente, la relación de transformación así como el tipo conexión de sus devanados (Delta-Delta, Delta-Estrella, Estrella-Delta, Estrella-Estrella).

3.3. Determinación de la Capacidad del Transformador. Cálculo

Se deben tomar en consideración los siguientes factores y características de operación:

1. Carga total instalada (kW_i).
2. Características de la carga.
3. Factor de Potencia (fp).
4. Carga aparente instalada (kVA_i).
5. Factor de Demanda (fd).
6. Carga Demandada (kVA_d).
7. Factor de Diversidad (FD).

Cálculo.

Normalmente la capacidad del transformador se mide sobre la carga aparente, la cual se obtiene de:

$$kVA = \frac{kW_i}{fp} \quad \dots 3.1$$

El factor de demanda es un porcentaje de utilización de la carga instalada, cuyo valor varía desde 60% como mínimo (valor estimado con base a estudios realizados por la cía. Suministradora) hasta 100% (valor determinado por el usuario del edificio) dependiendo del tipo de la instalación eléctrica en la construcción o edificio.

La carga demandada se obtiene multiplicando la carga instalada por el factor de demanda, así:

$$kVA_d = kVA_i \times fd \quad \dots 3.2$$

El Factor de Diversidad (FD) es la relación de la carga aparente instalada entre la suma de la carga aparente demandada:

$$FD = \frac{kVA_i}{kVA_d} \quad \dots 3.3$$

Por lo tanto, la capacidad del transformador será:

$$kVA_T = \frac{kVA_d}{FD} \quad \dots 3.4$$

3.4. Determinación de la Capacidad de los Fusibles del Interruptor Principal de la Subestación. Cálculo

Al ocurrir una condición de corto-circuito en una red eléctrica, se producen efectos térmicos y dinámicos muy apreciables a causa de las elevadas magnitudes que alcanza la corriente. La interrupción de estas corrientes en el menor tiempo posible es de suma importancia puesto que se evitan o se minimizan los daños ocasionados por el sobrecalentamiento de partes conductoras y por los esfuerzos dinámicos.

Los fusibles limitadores de corriente y de alta capacidad interruptiva son empleados para la protección contra corrientes de corto-circuito.

Su importancia radica en el efecto limitador de corriente, que es la capacidad de los fusibles para interrumpir la corriente de corto-circuito antes de que alcance su valor pico máximo al limitar el valor de la corriente de paso I_D al valor de la corriente de ruptura o corriente de fusión I_S que es considerablemente menor que la corriente de corto-circuito no limitada y que corresponde a la corriente de corto-circuito disponible en el punto donde ocurre la falla.

Definiciones Básicas

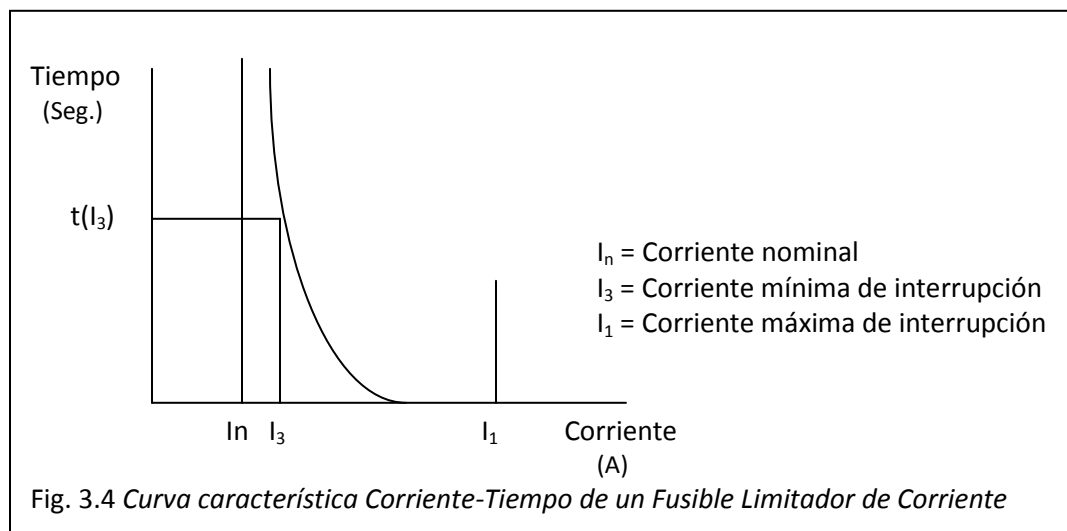
Corriente Nominal (I_n). La corriente nominal de un fusible corresponde al valor máximo de corriente que el fusible puede conducir por tiempo indefinido sin llegar a la fusión y que genera una cantidad de calor tal que el fusible puede disipar satisfactoriamente.

Capacidad Interruptiva (I_1) (*Corriente Máxima De Interrupción*). Corresponde a la máxima intensidad de corriente de corto-circuito que un fusible es capaz de interrumpir con seguridad.

Cuando se especifica la potencia de corto-circuito (**Pcc**) en lugar de la corriente, la relación entre ellas se deduce de la siguiente fórmula:

$$Pcc = kVred \times kAcc \times \sqrt{3} \quad \dots 3.5$$

Corriente Mínima De Interrupción (I_3). Para corrientes por encima de la corriente nominal I_n , los tiempos de fusión son muy largos, y menores a medida que las corrientes son mayores (ver fig. 3.4).



En este rango (I_n e I_3) la capacidad de disipación de calor del fusible es menor que la cantidad de calor generado en el interior, por lo que se presentan esfuerzos térmicos severos que pueden dañar al fusible. A medida que la corriente es mayor, los tiempos de fusión son más reducidos hasta un punto tal que la fusión ocurre en un lapso de tiempo relativamente corto (milisegundos), antes de que se presenten los esfuerzos térmicos y dañen al fusible.

A este valor de corriente se le define como la corriente mínima de interrupción I_3 y corresponde por lo tanto al límite inferior de la gama de corrientes que el fusible puede interrumpir satisfactoriamente.

Considerando lo anterior, en las curvas corriente-tiempo se define para cada tipo de fusible un valor de corriente mínima de interrupción (I_3) por debajo del cual no es recomendable la operación durante lapsos prolongados, puesto que la corriente (sobrecorriente) no tiene una magnitud suficientemente para producir la fusión en forma franca y definida, pero produce un excesivo calentamiento que modifica las características de los elementos fusible y produce daños que disminuyen su capacidad de interrupción para un evento futuro.

Por lo tanto, los fusibles limitadores de corriente NO deben operar durante tiempos prolongados en el rango de corrientes superiores a la nominal (I_n) e inferiores a la corriente mínima de interrupción (I_3) por los motivos expuestos. En el caso de corrientes superiores a la mínima de interrupción I_3 la operación del fusible es rápida, segura y definida.

Selección de la Corriente Nominal (I_n). Para evitar la operación del fusible en el rango de sobrecarga, se selecciona la corriente nominal I_n del fusible con un *factor de*

sobredimensionamiento de acuerdo al equipo a proteger, que por ejemplo, en el caso de transformadores es de 1.6 a 2 veces la corriente nominal en el circuito. Así el fusible soportará las corrientes de magnetización (inrush) y operar aún cuando el transformador trabaje en régimen de sobrecarga sin que el fusible se vea sometido a tal régimen, debido a que la capacidad térmica del transformador es mucho mayor que la del fusible.

Aplicando este factor se podrá coordinar la protección con otros dispositivos tales como relevadores de protección de sobrecorriente, falla de fase, etc. y también en el lado de baja tensión, por ejemplo, fusibles e interruptores termomagnéticos.

Tensión de Operación (V_n). Es la tensión de interrupción o tensión de maniobra que se genera durante el proceso de extinción del arco, al insertar la alta resistencia de éste e interrumpir corrientes con alto grado de inductancia. La tensión transitoria durante la interrupción no debe exceder los niveles de aislamiento, generalmente coordinados en la red, ya que provocaría problemas principalmente en el aislamiento en otros componentes del sistema, entre otros, apartarrayos colocados del lado de la línea. Por esta razón es importante emplear fusibles de una tensión nominal de acuerdo a la tensión de la red.

Al emplear un fusible de menor tensión nominal respecto a la tensión de la red se presentarán problemas para manejar los gradientes de crecimiento de la tensión, mientras que uno de mayor tensión nominal y consecuentemente de mayor tensión de interrupción, causaría un mayor gradiente de crecimiento de tensión y consecuentemente originaría problemas en los aislamientos de otros equipos del sistema.

Cálculo

Para obtener el valor de la capacidad de la protección en el lado primario del transformador, se puede obtener de dos maneras:

- a) Los Fabricantes de Transformadores, proporcionan tablas de Selección de fusibles, conociendo: La tensión de operación en kV y la capacidad en kVA del transformador.

$$I_n = 1.155 \times \frac{kVA}{kV} \quad \dots 3.6$$

- b) Con la siguiente fórmula se calcula la corriente y la afectamos por el factor de 1.6 a 2 veces (que está dentro de lo permitido por la NOM, hasta 3 veces), y con este valor seleccionamos el inmediato superior de entre los valores nominales comerciales.

$$I_n = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV_p} \quad \dots 3.7$$

3.5. Naturaleza de las Corrientes de Corto-Circuito en la selección de Interruptores.

En el diseño de las instalaciones eléctricas, se deben considerar no sólo las corrientes nominales de servicio, sino también las sobre corrientes debidas a las sobrecargas y a los cortocircuitos.

El cortocircuito se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes.

Las corrientes de cortocircuito se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.

Por lo tanto el conocimiento de las mismas, en los distintos puntos de la instalación, será indispensable para el diseño de los distintos componentes como son: barras, cables, dispositivos de maniobra y protección, etc.

Para el diseño de una instalación y elegir adecuadamente los dispositivos de protección debemos conocer las corrientes de *cortocircuito máximas y mínimas* en los distintos niveles.

Corrientes de cortocircuito máximas. Estas corrientes corresponden a un cortocircuito en los bornes de salida del dispositivo de protección, considerando la configuración de la red y al tipo de cortocircuito de mayor aporte, que es el trifásico. Se utilizan para determinar: El Poder de Corte y de Cierre de los interruptores y Los esfuerzos térmicos y electrodinámicos en los componentes.

Corrientes de cortocircuito mínimas. Estas corrientes corresponden a un cortocircuito en el extremo del circuito protegido, considerando la configuración de la red y al tipo de cortocircuito de menor aporte, que son el fase-neutro y entre fases. Se utilizan para determinar: El ajuste de los dispositivos para la protección de los conductores frente a cortocircuito.

Por último las corrientes de cortocircuito fase-tierra, se utilizan para elegir los dispositivos de protección contra los contactos eléctricos indirectos, y para diseñar los conductores del Sistema de Tierras.

El origen de los cortocircuitos puede ser: a) Por deterioro o perforación del aislamiento debido a calentamientos excesivos prolongados, ambiente corrosivo o envejecimiento natural; b) Por problemas mecánicos ya sea rotura de conductores o aisladores por objetos extraños o animales, ramas de árboles en líneas aéreas e impactos en cables subterráneos; c) Por sobretensiones debido a descargas atmosféricas o a fallas; d) Por factores humanos: falsas maniobras, sustitución inadecuada de materiales, etc. y e) Otras causas: vandalismos, incendios, inundaciones, etc.

Tipos de cortocircuitos

Los más comunes son:

	Incidencia (%)
Cortocircuito trifásico equilibrado.	5
Cortocircuito entre dos fases.	15
Cortocircuito monofásico fase-tierra y fase-neutro.	80

Las consecuencias de los cortocircuitos son variables dependiendo de la naturaleza y duración de las fallas, el punto de la instalación afectado y la magnitud de las corrientes.

Por ejemplo:

- En el punto de falla. La presencia de arcos con deterioro de los aislantes, fusión de los conductores, principio de incendio y riesgo para las personas.
- Para el circuito o equipo defectuoso. a) Esfuerzos electrodinámicos, con deformación de los juegos de barras, rotura de aisladores, averías en bobinados de transformadores o máquinas eléctricas rotativas; b) Esfuerzo térmicos, sobrecalentamientos con riesgo de deterioro del aislamiento de los conductores y daño físico a los accesorios de conexión.
- Para el resto de la instalación: disminución de la tensión durante el tiempo de eliminación del defecto (en BT 10 a 100 ms), puesta fuera de servicio de una parte de la instalación, perturbaciones en los circuitos de control y comunicaciones.

Fuentes que aportan al cortocircuito

Se denominan elementos activos y son esencialmente las máquinas eléctricas rotativas, además de la Red de suministro de energía eléctrica.

Máquinas Síncronas. Las fuentes de la Red de suministro son generadores síncronos. Al producirse un cortocircuito la máquina síncrona continúa girando, y se comporta como una fuente aportando al cortocircuito.

Se produce un transitorio en la corriente, en el que se distinguen tres períodos, *subtransitorio*, *transitorio* y *régimen permanente*.

- Período subtransitorio: Este es el período inicial de la corriente de cortocircuito.
- Período transitorio: Este período se caracteriza por un decrecimiento más lento de la corriente y durante un intervalo mayor.
- Régimen permanente: Permanece hasta que sea eliminado el cortocircuito por las protecciones. En el caso del generador el transitorio de la corriente es más lento y existe una corriente de régimen permanente mantenida por la máquina motriz y la fuente de excitación del campo. Mientras que en el caso del motor el transitorio es

rápido debido a que el eje sólo es mantenido en movimiento por la inercia de la carga y la corriente de régimen será nula.

Máquinas Asíncronas. Su principal aplicación es como motor en la industria. En el caso de un cortocircuito la tensión de alimentación del campo del estator deja de existir, y por lo tanto también la excitación del campo del rotor. El transitorio en este caso sólo se debe al campo magnético residual existente en el rotor y a la inercia de la carga, y la corriente de cortocircuito tenderá a cero rápidamente en un período de 2 a 3 ciclos.

Impedancias equivalentes de los elementos eléctricos

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito debemos disponer de un diagrama unifilar de la instalación, indicando todos los elementos y sus características. Los principales elementos para el cálculo son: la conexión a la red de suministro, generadores, motores, transformadores, conductores y dispositivos de protección contra sobrecorriente.

Los elementos activos de la instalación (red de suministro, generadores y motores) serán modelados como una fuente de tensión ideal en serie con una impedancia o una reactancia en el caso que se pueda despreciar las pérdidas Joule.

Los elementos pasivos de la instalación (transformadores y cables) serán modelados por una impedancia de fase. En el cálculo de las corrientes de cortocircuito de baja tensión, se desprecian las capacidades de línea y las admitancias en paralelo de los elementos pasivos, y los valores de las fuentes de tensión y las impedancias de todos los equipos eléctricos se suponen constantes.

Sistemas en por unidad.

Para estudiar el comportamiento de los sistemas eléctricos se usa convenientemente una representación denominada 'en por unidad' (p.u.) de voltaje, corrientes, impedancias, así como de potencias reales, reactivas y aparentes.

El valor en por unidad de cualquier cantidad se define como la relación de esa cantidad a un valor base y expresado en forma decimal. Un valor base es una cantidad cualquiera seleccionada convenientemente.

Componentes Simétricas.

Todo sistema trifásico senoidal desequilibrado, representado por tres fasores desequilibrados, puede sustituirse por la suma de tres sistemas de fasores simétricos: un sistema directo o de secuencia positiva, un sistema inverso o de secuencia negativa y un sistema homopolar o de secuencia cero, que constituyen las componentes simétricas del sistema desequilibrado; y cuyas ecuaciones respectivas son:

$$I_{a0} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \dots 3.8; \quad I_{a1} = \frac{I_a + aI_b + a^2I_c}{3} \dots 3.9; \quad I_{a2} = \frac{I_a + a^2I_b + aI_c}{3} \dots 3.10$$

En un sistema eléctrico, la corriente que circula por el neutro es:

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad \dots 3.11$$

Si el sistema trifásico está en equilibrio, esto es, las tres corrientes son iguales en magnitud y defasadas 120°, la corriente por el neutro es igual a cero: $I_n = 0$.

Si el sistema trifásico No está en equilibrio, habrá una circulación de corriente por el neutro, por lo que:

$$I_n = 3I_{a0} \quad \dots 3.12$$

Que es la ecuación básica para el cálculo de corto circuito a tierra, si la falla es monofásica o bifásica.

Impedancias de Secuencia.

Se designan como:

- Z_1 = Impedancia de secuencia positiva.
- Z_2 = Impedancia de secuencia negativa.
- Z_0 = Impedancia de secuencia cero.

Estos valores representan las impedancias del sistema al flujo de corrientes positiva, negativa y de secuencia cero.

Las máquinas síncronas tienen valores típicos de reactancias de secuencia positiva:

- X_d'' = Reactancia subtransitoria.
- X_d' = Reactancia transitoria.
- X_s = Reactancia síncrona.

Los transformadores tienen reactancias de secuencia positiva y negativa iguales. Las corrientes de secuencia cero No fluyen si el neutro del transformador no está conectado a tierra, por lo que X_0 se considera infinita.

En los cables y líneas de transmisión las reactancias de secuencia positiva y negativa se consideran iguales.

Tipos de Fallas.

Evaluando las condiciones en el punto de falla, se representa el circuito en el sistema de componentes simétricas.

En un sistema eléctrico trifásico pueden ocurrir las siguientes fallas: Fase a Tierra; Entre dos Fases; Dos Fases a Tierra; Entre tres Fases. Para estas fallas pueden considerarse dos casos: Falla sólida y Falla a través de una Impedancia.

Un corto circuito trifásico en un sistema trifásico equilibrado produce una falla trifásica equilibrada. Las fallas de una fase a tierra, entre dos fases y de dos fases a tierra producen fallas desequilibradas; considerando la falla a través de una impedancia Z_f .

Por lo que:

a) Falla de una Línea a tierra (monofásica):

$$I_a = \frac{3E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f} \quad \dots 3.13$$

Para una falla sólida $Z_f = 0$, por lo tanto:

$$I_a = \frac{3E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00}} \quad \dots 3.14$$

E = Voltaje nominal del bus donde está la falla.
Esta sería la máxima corriente de corto circuito.

b) Falla de Línea a Línea (bifásica):

$$I_b = -I_c = -j\sqrt{3} I_1 \quad \dots 3.15$$

Para una falla sólida $Z_f = 0$, por lo tanto:

$$I_1 = -I_2 = \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22}} \quad \dots 3.16$$

Esta sería la máxima corriente de corto circuito.

c) Falla de Dos Líneas a tierra (bifásica a tierra):

$$I_b + I_c = 3I_0 \quad \dots 3.17$$

d) Falla Trifásica. En este caso la falla no produce ningún desequilibrio en el sistema trifásico, y por lo tanto, no existirán corrientes ni voltajes de secuencia negativa ni de secuencia cero, independientemente de que la falla trifásica esté conectada a tierra o no. Sólo se va a encontrar la red de secuencia positiva, por lo tanto no se calcula en este tipo de falla trifásica a tierra ya que la corriente en $I_a = I_b = I_c = 0$, y no hay circulación de corriente por el conductor a tierra. Si la falla es trifásica a tierra NO EXISTE.

Calculo de las Corrientes de Corto Circuito Trifásico. Métodos de Solución.

Método Valores en Por Unidad (p.u.)

El primer paso para calcular la potencia y la corriente de corto circuito simétrico es establecer una base de potencia en kVA o MVA y una base de voltaje en kV y convertir todas las impedancias del sistema a valores en por unidad en dichas bases.

Después de convertir todas las impedancias a una base común, el sistema puede reducirse a una sola impedancia en el punto de falla por combinaciones sucesivas serie paralelo o por transformaciones delta-estrella. Lo anterior no es más que la aplicación del Teorema de Thévenin al sistema.

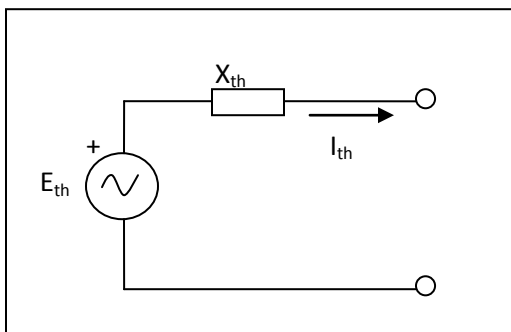


Figura 3.5.a.

Así la corriente de corto circuito en p.u. es:

$$I_{pu} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \quad \dots 3.18$$

La corriente de corto circuito en Amperes es:

$$I = I_{pu} \times I_{base} \quad \dots 3.19$$

Dónde:

$$I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} \quad \dots 3.20$$

La potencia de corto circuito será:

$$P_{cc} = \frac{E_{pu}^2}{X_{pu}} P_{base} \quad \dots 3.21$$

Método Directo o Método Ohmico.

Este método se utiliza cuando en el diagrama unifilar se tienen los datos del equipo y del sistema en Volts, Amperes y Ohms directamente. A diferencia del método en p.u., en éste hay que considerar las relaciones de transformación de los transformadores para determinar los valores de impedancias conectadas en el lado de alta o de baja tensión del sistema.

Con los valores de impedancias en Ohms, el sistema puede reducirse a una sola impedancia en el punto de falla por combinaciones sucesivas serie paralelo o por transformaciones delta-estrella aplicando el Teorema de Thévenin.

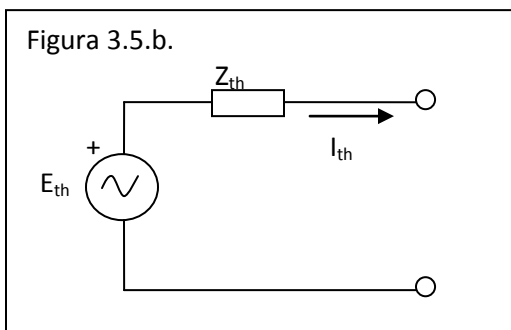


Figura 3.5.b.

Así la corriente de corto circuito en p.u. es:

$$I = \frac{E}{Z} \quad \dots 3.22$$

Dónde:

E = Voltaje Línea-neutro en el punto de falla en volts.

Z = Impedancia equivalente en el punto de falla en Ohms.

La potencia de corto circuito será:

$$P_{cc} = \frac{E^2}{Z} \quad \dots 3.23$$

Método de los MVA's.

Donde no es necesario considerar la resistencia de los elementos que integran el sistema, un método más sencillo puede emplearse para calcular la potencia de corto circuito simétrica en MVA's. Considerando que:

1. La impedancia del equipo deberá convertirse directamente a MVA de corto circuito ya sea en % o en p.u.

$$MVA_{cc} = \frac{MVA_{nom \text{ de equipo}} \times 100}{X\% \text{ del equipo}} \quad \dots 3.24; \quad MVA_{cc} = \frac{MVA_{nom \text{ de equipo}} \times 100}{X_{pu} \text{ del equipo}} \quad \dots 3.25$$

2. La impedancia de líneas y alimentadores (cables) deberá convertirse directamente a MVA de corto circuito si la reactancia de la línea está en ohms por:

$$MVA_{cc} = \frac{kV_{l-l}^2}{X_{ohms}} \quad \dots 3.26$$

Dibujando dentro de círculos todos los MVA de corto circuito de equipos y alimentadores siguiendo el mismo arreglo que en el diagrama unifilar general.

Sucesivamente combinamos los MVA de corto circuito del sistema hasta encontrar un valor equivalente en el punto de falla: Valores en paralelo se suman directamente; valores en serie se combinan como si fueran impedancias en paralelo utilizando un nomograma.

Con el valor encontrado se calcula la corriente de corto circuito trifásico en amperes para el punto de falla.

$$I_{cc} = \frac{MVA_{cc} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{l-l}} \quad \dots 3.27$$

Método Z_{bus} .

Recomendarse sólo para computadora.

Método de Bus Infinito.

Cuando no se tiene el dato de potencia de corto circuito por parte de la Compañía suministradora, la reactancia se considera infinita (∞), por lo tanto:

$$I_{pu} = \frac{E_{pu}}{X_{pu}} \quad \dots 3.28; \quad I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV(0.22)} \quad \dots 3.29; \quad I_{cc} = I_{pu} \times I_{base} \quad \dots 3.30$$

Obteniendo así la máxima corriente de corto circuito.

3.6. Sistema de Tierras

El desarrollo industrial, actualmente requiere de técnicas modernas de instalación y montaje del equipo o maquinaria productiva, por lo que es importante no descuidar la seguridad que se deberá brindar a dichos elementos y principalmente a todo el personal que pueda estar en contacto con éstos y con las partes de las instalaciones que aún no siendo portadoras de energía eléctrica, pueden ocasionar una descarga que ponga en peligro su integridad física.

En los métodos de planeación de instalaciones eléctricas, se requiere de un sistema de tierra para dispersar las corrientes producidas por la formación de arcos durante las maniobras de interruptores bajo condiciones de carga, corrientes vagabundas que pudieran existir en la instalación, las producidas por contactos accidentales o las corrientes derivadas de las fallas de fase a tierra o de corto circuito.

Las Funciones Básicas del Sistema de Tierra son:

1. Proveer un medio seguro para proteger al personal en la proximidad de sistemas ó equipos conectados a tierra, de los peligros de una descarga eléctrica bajo condiciones de falla.
2. Proveer un medio seguro para disipar las corrientes eléctricas a tierra, sin que se excedan los límites de operación de los equipos.
3. Proveer una conexión a tierra para el punto neutro de los equipos que así lo requieran (Transformadores).
4. Proveer un medio de descarga y desenergización de equipo antes de proceder a tareas de mantenimiento.
5. Facilitar mediante la operación de relevadores y otros dispositivos de protección, la eliminación de fallas a tierra en el sistema.

Los componentes básicos en un Sistema de Tierras en una Subestación Eléctrica (SE), son:

- Conductores, cable de cobre trenzado principalmente.
- Electrodo; varillas de tierra (copperweld) y 'rehiletos' (varillas y placa de cobre).
- Conectores. De cobre, con dimensiones adecuadas para absorber el calentamiento (temperatura de 250 – 350°C) resultado de corrientes elevadas.
- Compuestos químicos. Para mejoramiento del suelo en cuanto a la conductividad.

Con características de:

- Resistencia a la corrosión. Retardar su deterioro.
- Conductividad eléctrica.
- Capacidad de conducción de corriente. Suficiente para soportar los esfuerzos térmicos y dinámicos durante las condiciones de magnitud y duración de la corriente de falla.
- Resistencia mecánica y robustez. Soporte a daño físico.

Consideraciones en el Cálculo de un Sistema de Tierras

Características del Suelo. Ubicación de la SE.

- Resistividad del terreno. $\rho = \frac{RA}{L} \dots 3.31$

Donde: ρ = Resistividad del terreno (Ohms-m)
R = Resistencia (Ohms)
A = Área (m²)
L = longitud (m)

- Efecto de la Humedad, Temperatura y contenido Químico. La resistividad del suelo se eleva cuando la humedad se reduce; a menor temperatura, la resistividad se incrementa y la composición y cantidad de sales solubles afectan la resistividad.
- Mediciones. Es necesario realizar las pruebas de campo en varios lugares del terreno y son esenciales para determinar la composición general del suelo y seleccionar con precisión el modelo a usar en el diseño de nuestra red. Los métodos utilizados son el de 4 puntos (Wenner y/o Schlumberger-Palmer) y el de 3 puntos o de Caída de Potencial.

Corriente máxima de la malla, Análisis de fallas, División de Corrientes y Asimetría.

- Corriente máxima de la Malla (**I_G**).
 - a) Evaluar el tipo y localización de fallas a tierra que producirán los mayores flujos de corriente entre la malla y el terreno, produciendo la mayor elevación en el potencial de la malla con respecto a tierra (GPR) y los mayores gradientes de potencial en el área de la SE.
 - b) Determinar el Factor de División de la corriente de falla **S_f** y obtener el valor de la corriente simétrica de malla **I_g**.
 - c) Para cada tipo de falla y basado en su tiempo de duración **t_f**, obtener el valor del Factor de Decremento **D_f** para los efectos de asimetría de la onda de la corriente de falla.
 - d) Seleccionar el valor más grande del producto **D_fI_g** y la peor condición de falla, y establecer el valor del Factor de Proyección **C_p** para obtener los márgenes para crecimiento futuro del sistema (cuando No hay crecimiento **C_p = 1**).
- Corriente Simétrica de Malla. Es una parte de la corriente simétrica de falla a tierra **I_f** que fluye de la malla de tierras hacia el terreno.

$$I_g = S_f I_f \dots 3.32$$

- Corriente máxima de malla. $I_G = C_p D_f I_g \dots 3.33$

- Efecto de la asimetría. Factor de Decremento. La máxima corriente de malla **I_G**, es la máxima corriente asimétrica que fluye entre la malla de tierra y el terreno que la

rodea. Incluye la corriente simétrica I_g , así como una corrección para la componente de directa, que decae exponencialmente conocida como ‘desplazamiento de la corriente cd’. Por lo que:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left[1 - e^{-2t_f/T_a} \right]} \quad \dots 3.34$$

Dónde: t_f = Duración de la falla (seg.)

$$T_a = \text{Constante de tiempo subtransitoria (seg.):} \quad T_a = \frac{X''}{R} \quad \dots 3.35$$

La relación X''/R , es la relación X/R en el punto de falla, para un determinado tipo de falla.

Factor de Decremento D_f para varias relaciones X/R					
Duración de la Falla (seg.)	Frecuencia 60 Hz	Factor de Decremento D_f			
		$X/R = 10$	$X/R = 20$	$X/R = 30$	$X/R = 40$
0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Tabla 3.5.1.

➤ Factor de División de la Corriente de Falla. $S_f = \frac{I_g}{3I_0} = \frac{I_g}{I_f} \quad \dots 3.36$

Donde: I_g = Corriente simétrica de malla

I_0 = Corriente de secuencia cero en el punto de falla.

- Tipos de Falla a Tierra. Es difícil determinar que tipo de falla y su localización, proporcionarán el mayor flujo de corriente entre la malla de tierras y el terreno que lo rodea. ***Para propósitos prácticos se recomienda se realice únicamente con la falla de línea a tierra (monofásica) y de dos líneas a tierra (bifásica a tierra).***

Las fórmulas respectivas son:

$$I_0 = \frac{E}{X_1 + X_2 + X_0} \quad \dots 3.37$$

$$y \quad I_0 = \frac{EX_2}{X_1(X_0 + X_2) + X_2X_0} \quad \dots 3.38$$

Dónde:

- I_0 = Corriente rms simétrica de secuencia cero en el punto de falla.
- E = Voltaje en el punto de falla.
- X_1 = Reactancia equivalente de secuencia positiva en el punto de falla.
- X_2 = Reactancia equivalente de secuencia negativa en el punto de falla.
- X_0 = Reactancia equivalente de secuencia cero en el punto de falla.

- Efecto de la Resistencia a Tierra de la Malla. Normalmente es suficiente calcular la corriente máxima de malla I_G , despreciando las resistencias de los elementos del sistema eléctrico, la resistencia a tierra de la malla y la impedancia de la falla. Con esto se da más margen de seguridad a la red, ya que la corriente calculada es ligeramente mayor.

Resistencia a Tierra. En la práctica la elevación del potencial a tierra en el lugar de la SE se incrementa proporcionalmente con la corriente de falla, por lo que se deberá tener un valor muy bajo de resistencia a tierra.

Cálculos Simplificados. El valor estimado de la resistencia a tierra es uno de los primeros pasos para determinar el tamaño y el arreglo básico del sistema de tierras. Ésta depende del área ocupada por el sistema de tierras. Puede estimarse por medio de la fórmula de una placa metálica circular.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad \dots 3.39$$

Donde:

- R_g = Resistencia a tierra (Ohms)
- ρ = Resistividad promedio del suelo (Ohms-m)
- A = Área ocupada por la malla de tierra (m^2)

Puede obtenerse un valor límite de la resistencia agregando $\left(\frac{\rho}{L}\right)$.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \left(\frac{\rho}{L}\right) \quad \dots 3.40$$

Donde L = longitud total de conductores enterrados de la red (m)

La resistencia de cualquier sistema que consiste en un número de conductores es mucho mayor que el formado por una placa sólida, pero dicha diferencia decrecerá aproximándose a cero cuando L sea infinita, alcanzándose la condición de placa sólida.

Las dos ecuaciones anteriores pueden emplearse para profundidades de la red menores a 0.25 m.

Para profundidades entre 0.25 y 2.50 m, se requiere una corrección de profundidad:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad \dots 3.41$$

Donde: h = Es la profundidad de la malla (m)

La primera ecuación se usará cuando se requiera un valor estimado de la resistencia a tierra. Las dos restantes son de gran ayuda para calcular la elevación de potencial a tierra para evaluar un diseño preliminar y determinar la longitud aproximada de conductores enterrados que se necesitan para el control de los Voltajes de Paso y de Contacto.

Cuando se contemplan además Varillas de Tierra, debe emplearse la **fórmula de Schwarz**. La resistencia total es menor que la resistencia de cada uno por separado, pero mayor que su combinación en paralelo, por lo que:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}} \quad \dots 3.42$$

Donde:

R₁ = Resistencia de los conductores de la malla.

R₂ = Resistencia de todas las varillas de tierra.

R₁₂ = Resistencia mutua entre el grupo de conductores y el grupo de varillas.

Lo anterior supone condiciones de suelo uniforme.

Pero en la práctica, es común que al enterrarse la varilla, alcance capas de suelo de mayor conductividad, por lo tanto:

$$R_1 = \left(\frac{\rho_1}{\pi l_1} \right) \left[\ln \left(\frac{2l_1}{h'} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right] \quad \dots 3.43$$

$$R_2 = \left(\frac{\rho_a}{2n\pi l_2} \right) \left[\ln \left(\frac{8l_2}{d_2} \right) - 1 + 2K_1 \left(\frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad \dots 3.44$$

$$R_{12} = \left(\frac{\rho_a}{\pi l_1} \right) \left[\ln \left(\frac{2l_1}{l_2} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right] \quad \dots 3.45$$

Donde:

ρ₁ = Resistividad del suelo encontrada por los conductores de la malla enterrados a la profundidad h (Ohms-m)

ρ_a = Resistividad aparente del suelo vista por una varilla de tierra (Ohms-m)

H = Espesor de la capa superior del suelo (m)

ρ₂ = Resistividad del suelo para profundidades debajo de H (Ohms-m)

l₁ = Longitud total de los conductores de la malla (m)

l₂ = Longitud media de una varilla de tierra (m)

h = Profundidad de la malla enterrada (m)

$h' = \sqrt{d_1 h}$ para conductores enterrados a la profundidad h , ó $0.5d_1$ para conductores a $h = 0$ (sobre la superficie de la tierra)

$A =$ Área cubierta por la malla de dimensiones $(a)(b)$ (m^2)

$n =$ número de varillas de tierra situados en A

$K_1, K_2 =$ Constantes relacionadas por la geometría del sistema (Fig. a) y b))

$d_1 =$ diámetro del conductor de la malla (m)

$d_2 =$ diámetro de las varillas de tierra (m)

$a =$ longitud corta de la malla (m)

$b =$ longitud larga de la malla (m)

Las ecuaciones 5, 6 y 7, son válidas para suelos con 2 capas, con la capa superior de espesor H en la cual las varillas penetran para alcanzar la capa inferior. En tal caso, esto es para $\rho_1 \geq \rho_2$, donde la malla está enterrada en la capa superior ρ_1 pero las varillas están parte en la capa ρ_1 y parte en ρ_2 , el cálculo de R_2 y R_{12} se realiza con una resistividad aparente ρ_a vista por las varillas de tierra igual a:

$$\rho_a = l_2(\rho_1\rho_2)[\rho_2 H + \rho_1(l_2 - H)] \quad \dots 3.46$$

Para el caso general en que la parte superior de las varillas están a la misma profundidad de la malla:

$$\rho_a = \frac{l_2(\rho_1\rho_2)}{[\rho_2(H-h) + \rho_1(l_2 + h - H)]} \quad \dots 3.47$$

Para suelos de resistividad uniforme: $\rho_1 = \rho_2$

Si la diferencia entre ρ_1 y ρ_2 no es muy grande (ρ_2 no menor que $0.2\rho_1$) y el espesor de la primera capa H es al menos $0.1b$, las ecuaciones son precisas en la mayoría de los cálculos.

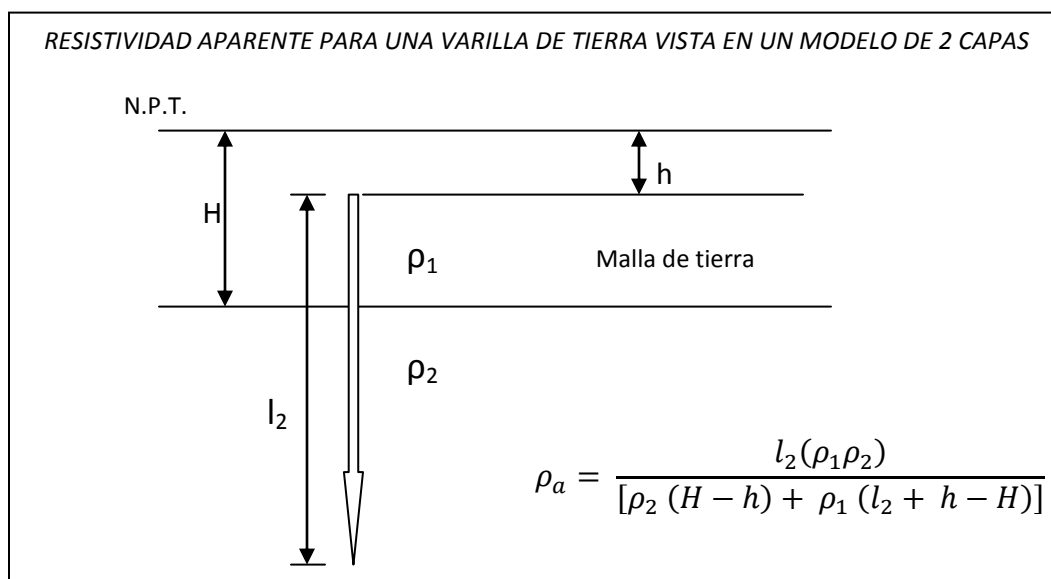
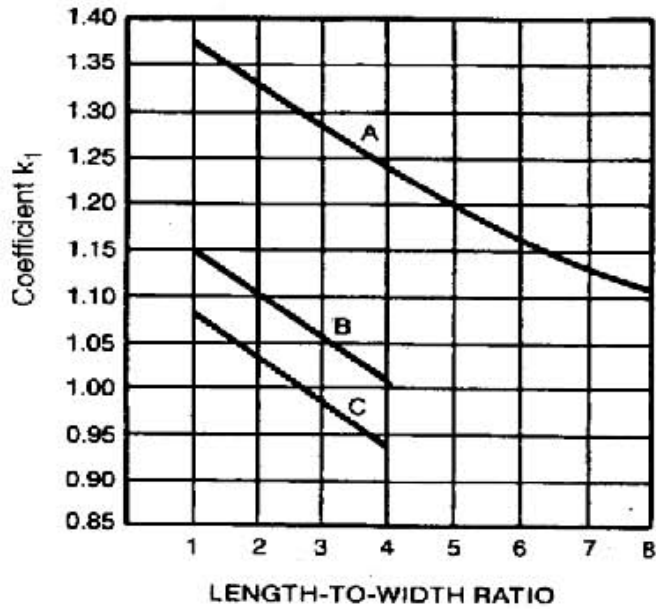
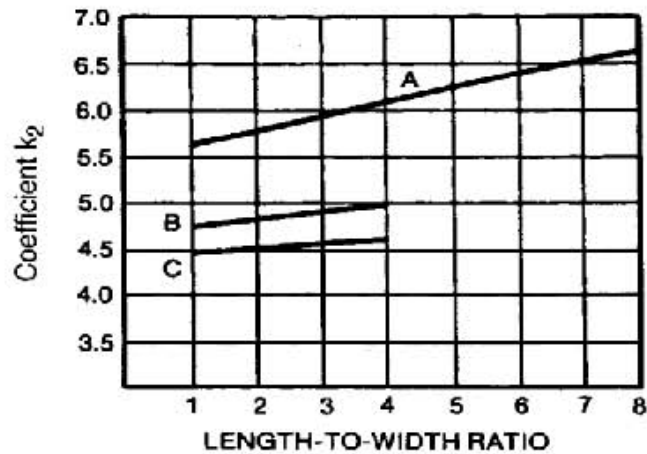


Figura 3.5.c.



(a)

CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $y_A = -0.04x + 1.41$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$
 $y_B = -0.05x + 1.20$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$
 $y_C = -0.05x + 1.13$



(b)

CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $y_A = 0.15x + 5.50$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$
 $y_B = 0.10x + 4.68$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/8 \sqrt{\text{AREA}}$
 $y_C = -0.05x + 4.40$

Figura 3.5.d. Coeficientes de K_1 y K_2 de la Fórmula de Schwarz. IEEE Std.80

Cálculo de los Potenciales tolerables por el cuerpo humano.

- Rango de corriente tolerable. Los efectos que produce una corriente al circular a través de partes vitales del cuerpo humano, dependen de su duración, magnitud y frecuencia. Los más comunes son: Percepción, Contracción muscular, Pérdida del conocimiento, Fibrilación ventricular (es la más peligrosa), Paro respiratorio, Quemaduras, etc.

La corriente de magnitud I_B y rango de duración 0.03 a 3 segundos que no produce fibrilación, está relacionada por el cuerpo, así:

$$(I_B)^2 t = K \quad \dots 3.48$$

Donde:

I_B = Magnitud rms de la corriente que fluye por el cuerpo.

t = Duración del flujo de corriente.

K = Constante empírica relacionada con la energía tolerada por un X% de una población dada.

Parámetros basados en estudios de personas (99.5%) con peso de aproximadamente 50 kg.

Despejando I_B :
$$I_B = \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{t}} \quad \dots 3.49$$

Para (50 kg - 99.5%), $K = 0.0135$:
$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad \dots 3.50$$

Para 70 kg, $K = 0.0246$:
$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad \dots 3.51$$

Usando estos valores, es posible determinar el voltaje tolerable entre dos puntos críticos de contacto, además de la siguiente notación:

I_A = Corriente a través del circuito.

R_A = Resistencia efectiva total del circuito.

I_B = Corriente permisible por el cuerpo humano.

R_F = Resistencia de la tierra debajo de cada pie.

Por condiciones de seguridad: $I_A < I_B$

La resistencia R_A del circuito es función de la resistencia R_B y R_F . Para análisis, el pie humano puede representarse como un disco conductor.

Las resistencias propia y mutua para dos discos metálicos de radio b separados una distancia d_F sobre la superficie de un terreno homogéneo de resistividad ρ son:

$$R_{foot} = \frac{\rho}{4b} \quad \dots 3.52 \quad \text{y} \quad R_{M_{foot}} = \frac{\rho}{2\pi d_{foot}} \quad \dots 3.53$$

Donde:

R_{foot} = Resistencia propia a tierra de cada pie (Ohms)

R_{Mfoot} = Resistencia mutua entre los pies (Ohms)

b = Radio equivalente de un pie (m)

d_{foot} = Separación de los pies (m)

La resistencia de la tierra bajo los pies es:

$$R_{2F_s} = 2 \left(R_{foot} - R_{Mfoot} \right) \quad \text{SERIE} \quad \dots 3.54$$

$$R_{2F_p} = 0.5 \left(R_{foot} - R_{Mfoot} \right) \quad \text{PARALELO} \quad \dots 3.55$$

Circuito equivalente de un Contacto pie a pie. El potencial U es la diferencia de potencial máxima entre dos puntos sobre la superficie separados por la distancia de un paso. *La resistencia para el Potencial de Paso es:*

$$R_A = R_B + 2 \left(R_{foot} - R_{Mfoot} \right) \quad \dots 3.56$$

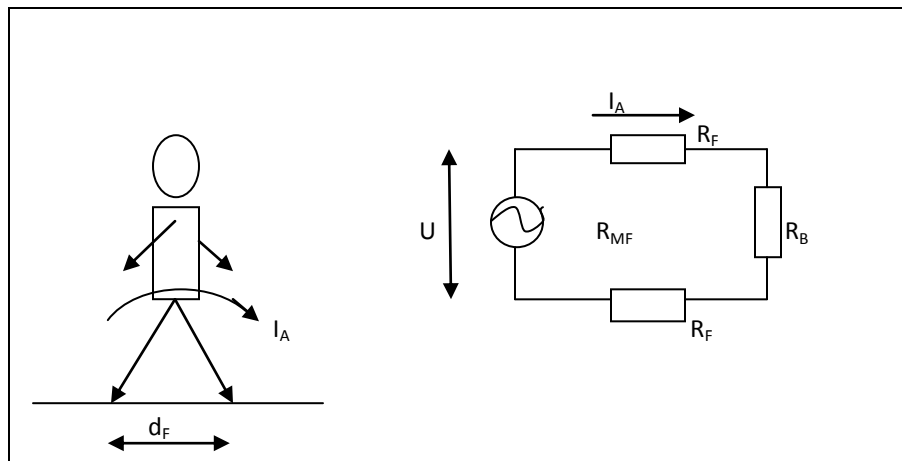


Figura 3.5.e.

Con: $d_F = 1 \text{ m}$

$$R_A = R_B + 2R_F - 2R_{MF}$$

$$I_A = U/R_A$$

$$R_B = 1000 \Omega$$

Donde: I_A = es la Corriente accidental en el circuito.

R_A = es la Resistencia accidental en el circuito.

Circuito equivalente de un Contacto entre una mano y los dos pies. *La resistencia para el Potencial de Contacto es:*

$$R_A = R_B + 0.5 \left(R_{foot} - R_{Mfoot} \right) \quad \dots 3.57$$

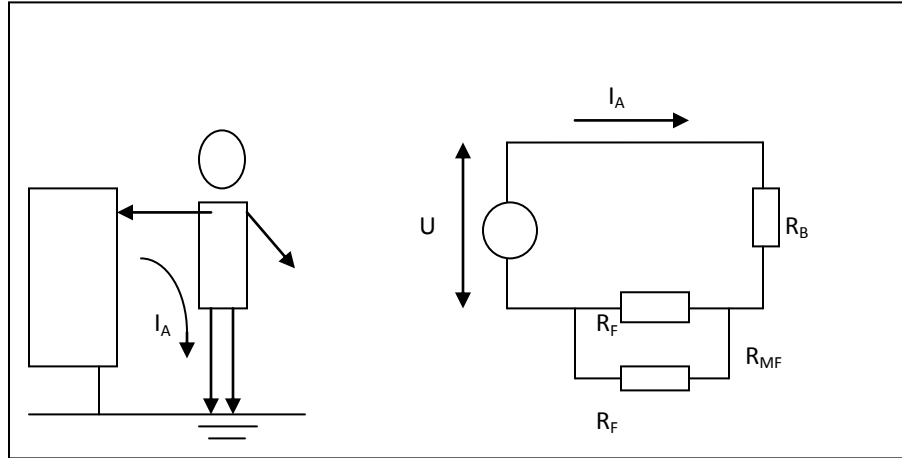


Figura 3.5.f

Se ha seleccionado un radio de 0.08 m (3 pulgadas) para el disco que representaría a un pie además de despreciar el término de la resistencia mutua. Por lo que las ecuaciones para las resistencias en serie y paralelo de los dos pies quedan:

$$R_{2F_s} = 6\rho \quad \dots 3.58 \quad \text{y} \quad R_{2F_p} = 1.5\rho \quad \dots 3.59$$

- Efecto de la capa de roca triturada en la superficie de la SE, (caso poco probable). Esta capa (8 a 15 cm) incrementa la resistencia de contacto entre el terreno y los pies del personal en la SE. Por lo tanto:

$$R_{2F_s} = 6 C_s (h_s, K)\rho_s \quad \dots 3.60 \quad \text{y} \quad R_{2F_p} = 1.5C_s(h_s, K)\rho_s \quad \dots 3.61$$

Donde:

C_s = Factor de reducción del valor nominal de la resistividad superficial.

h_s = Espesor de las capa triturada (m)

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \dots 3.62$$

Con:

$C_s = 1$ para cuando la resistividad superficial es igual a la resistividad del terreno.

Cualquier caso:

$$C_s = \frac{1}{0.96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + (2nh_s/0.08)^2}} \right] \quad \dots 3.63$$

Para este caso en que $C_s < 1$, donde C_s es una función de (h_s , K), donde sus valores se grafican en la figura siguiente:

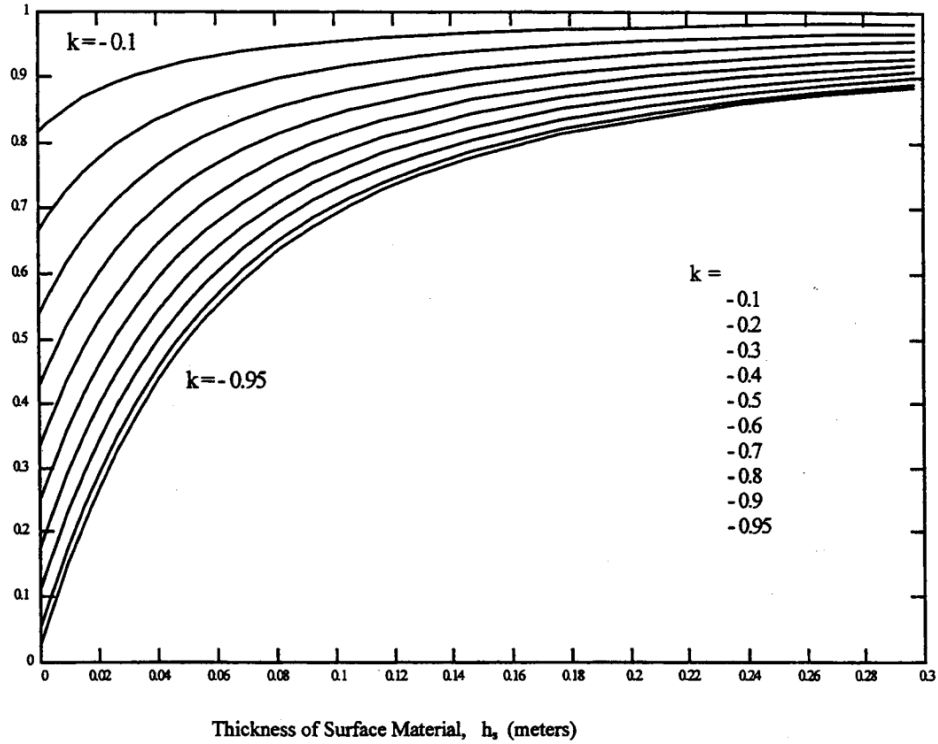


Figura 3.5.g. *Espesores de Materiales superficiales (metros)*

- Potencial de Paso tolerable. Sus ecuaciones son:

$$E_{PASO} = (R_B + R_{2F_S}) I_B \quad \dots 3.64$$

$$E_{PASO_{50}} = (1000 + 6 C_S (h_s, K) \rho_S) 0.116 / \sqrt{t_S} \quad \dots 3.65$$

$$E_{PASO_{70}} = (1000 + 6 C_S (h_s, K) \rho_S) 0.157 / \sqrt{t_S} \quad \dots 3.66$$

- Potencial de Contacto tolerable. Sus ecuaciones son:

$$E_{CONT} = (R_B + R_{2FP}) I_B \quad \dots 3.67$$

$$E_{CONT_{50}} = (1000 + 1.5 C_S (h_s, K) \rho_S) 0.116 / \sqrt{t_S} \quad \dots 3.68$$

$$E_{CONT_{70}} = (1000 + 1.5 C_S (h_s, K) \rho_S) 0.157 / \sqrt{t_S} \quad \dots 3.69$$

Donde:

$C_S = 1$ para cuando no existe una capa superficial ó determinado a partir de la figura anterior cuando exista una capa superficial de alta resistividad y pequeño espesor.

ρ_S = Resistividad del material de las superficie (Ohms – m)

t_S = Duración de la corriente (seg.)

Figura 3.5.h. Situaciones básicas de descargas.

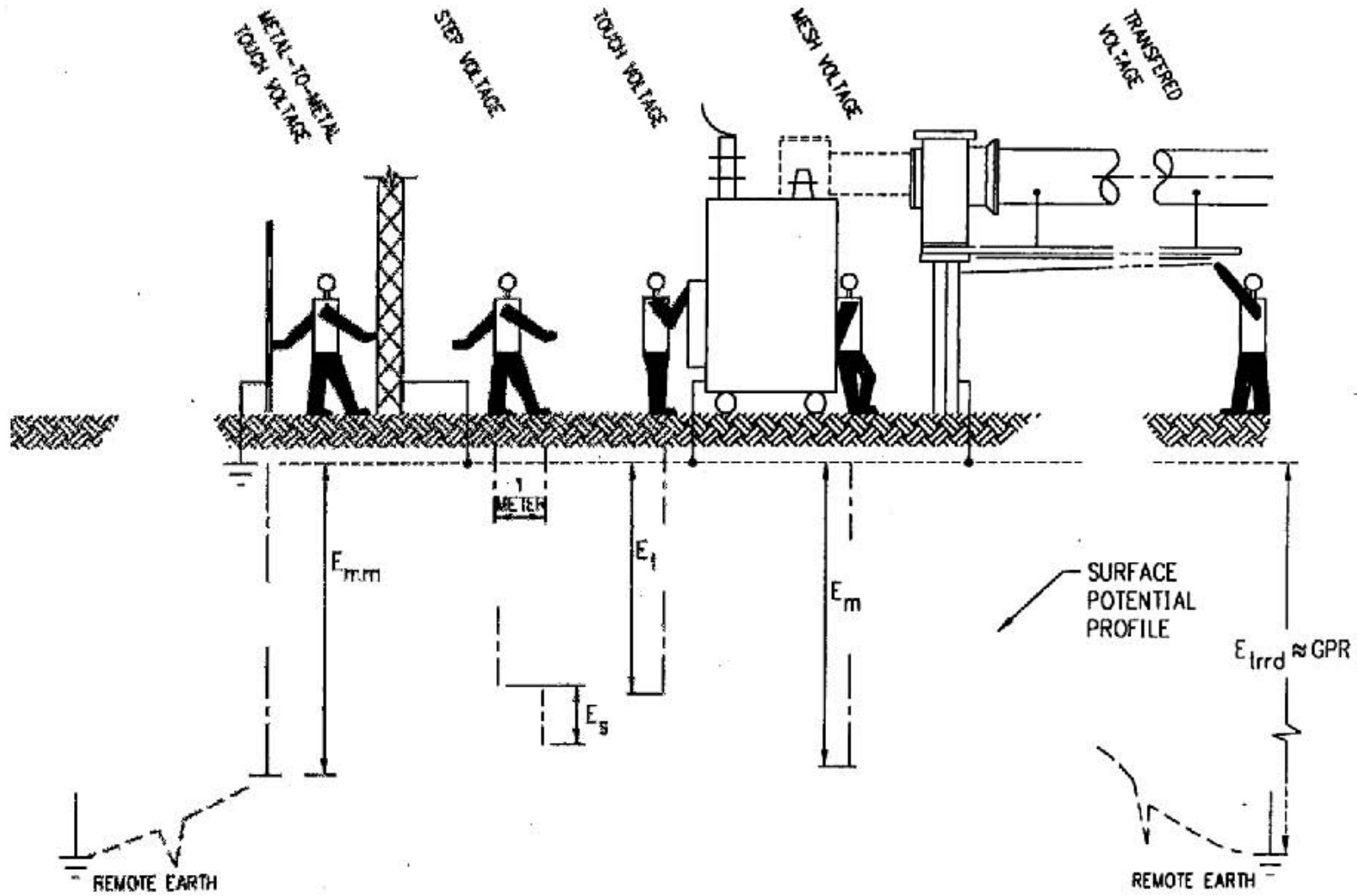


Figure 12—Basic shock situations

Figura 3.5.i. Situación típica de potencial transferido prolongado.

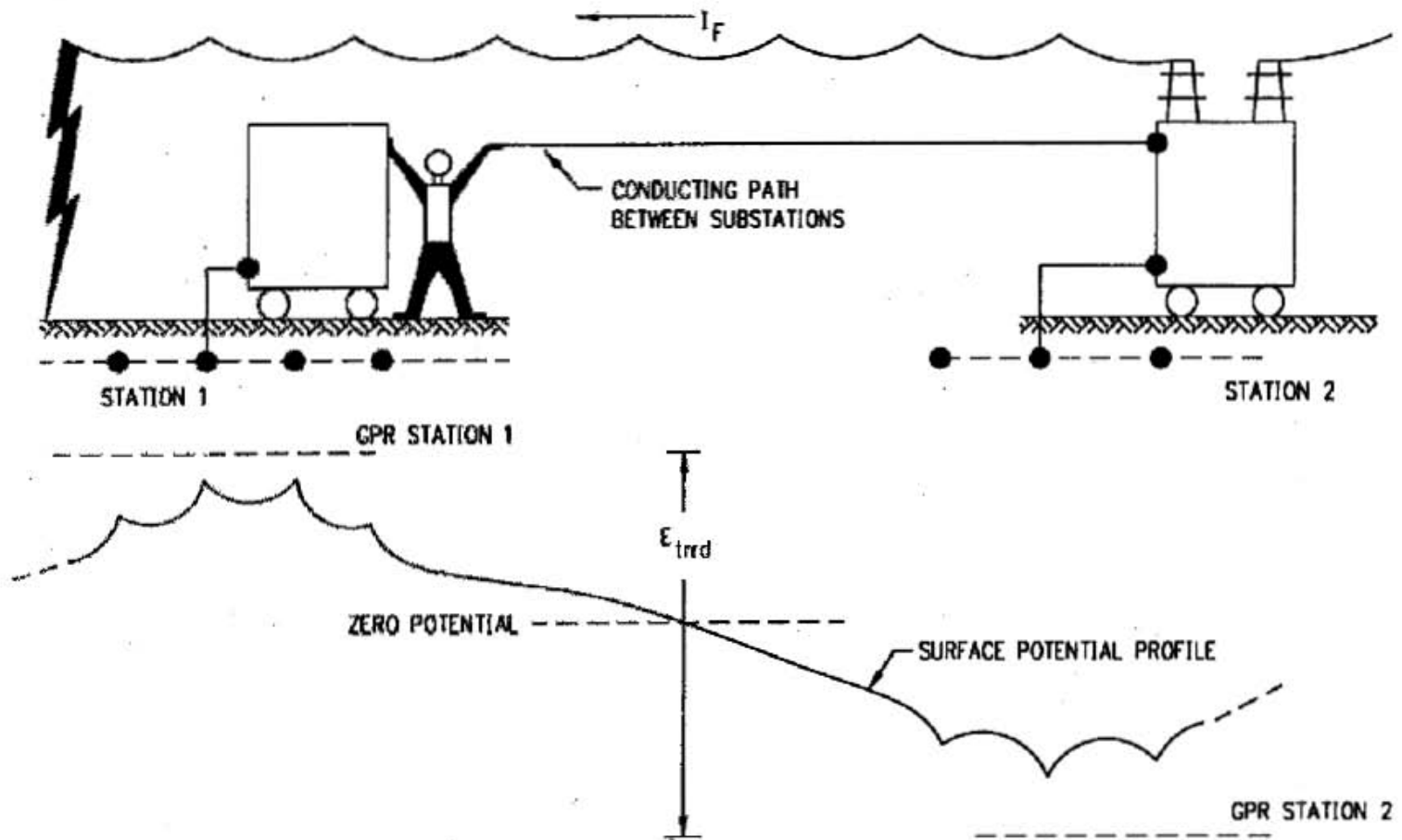


Figure 13—Typical situation of extended transferred potential

Cálculo de la Sección del conductor. Los conductores empleados en el sistema de tierra deben ser capaces de soportar la máxima corriente de falla durante un tiempo determinado sin llegar a la fusión.

$$I = A \sqrt{\left[\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_C \alpha_r \rho_r} \right] \text{Ln} \left[\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]} \quad \dots 3.70$$

Donde:

I = Corriente rms (kA)

A = Sección transversal del conductor (mm²)

T_m = Temperatura máxima permisible (°C)

T_a = Temperatura ambiente (°C)

T_r = Temperatura de referencia para las constantes del material (°C)

α₀ = Coeficiente térmico de resistividad a 0°C

α_r = Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r

ρ_r = Resistividad del conductor a la temperatura de referencia T_r (μΩ/cm³)

$$K_0 = \frac{1}{\alpha_0} \quad \text{ó} \quad \left(\frac{1}{\alpha_r} \right) - T_r$$

t_C = Tiempo de duración del flujo de corriente (seg.)

TCAP = Factor de capacidad térmica (J/cm³/°C)

Si el tamaño del conductor está dado en Circular Mills, la ecuación será:

$$I = 5.0671 \times 10^{-6} A \sqrt{\left[\frac{TCAP}{t_C \alpha_r \rho_r} \right] \text{Ln} \left[\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]} \quad \dots 3.71$$

Descripción	Conductividad del material	Factor ρ _r	K (1/α ₀)	Temperatura de Fusión	ρ _r a 20°C	Factor TCAP Valor efectivo
	(%)	a 20°C	a 0°C	(°C)	(μΩ/cm ³)	(J/cm ³ /°C)
<i>Standard</i> Cable de cobre Suave	100.0	0.00393	234	1083	1.7241	3.422
<i>Comercial</i> Cable de cobre Duro	97.0	0.00381	242	1084	1.7774	3.422

Tabla 3.5.3.

Reordenado las ecuaciones para calcular el tamaño o calibre del conductor en función de la corriente:

$$A_{mm^2} = I \sqrt{\frac{\frac{t_C \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP}}{\text{Ln} \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}} \quad \dots 3.72$$

$$A_{cmils} = 1973.52 I \sqrt{\frac{\frac{t_C \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP}}{\text{Ln} \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}} \quad \dots 3.73$$

La tabla y figura siguientes, proporcionan una referencia rápida para algunos materiales, suponiendo los parámetros siguientes:

1. Temperatura ambiente de 40°C.
2. Temperatura límite de fusión del conductor como se muestra en la tabla anterior.
3. Temperatura máxima de 450 y 250°C para los conectores.

Tiempo de falla (seg.)	Solo cobre 100%	Solo cobre 97%	Solo CCS 40%	Solo CCS 30%	Temperatura límite del cobre a 97%	
					450°C	250°C
30.0	38.4	38.7	57.0	65.8	51.1	64.5
4.0	14.0	14.2	20.8	24.0	18.7	23.5
1.0	7.0	7.1	10.4	12.0	9.3	11.8
0.5	4.9	5.0	7.4	8.5	6.6	8.3

Tabla 3.5.4. Tamaño mínimo de conductor (cmills/A)

CALIBRE		DIAMETRO DEL CONDUCTOR	
Circular Mills	A.W.G.	Pulgadas	Milímetros
1,000,000		1.152	29.26
800,000		1.031	26.18
750,000		0.998	25.35
700,000		0.964	24.48
600,000		0.893	22.68
500,000		0.813	20.65
400,000		0.728	18.49
350,000		0.681	17.29
300,000		0.630	16.00
250,000		0.575	14.60
211,600	4/0	0.528	13.41
167,000	3/0	0.470	11.93
133,100	2/0	0.419	10.64
105,500	1/0	0.373	9.47
83,690	1	0.332	8.43
66,370	2	0.292	7.41
52,630	3	0.260	6.60
41,740	4	0.232	5.89
26,240	6	0.184	4.67
16,510	8	0.146	3.70
10,380	10	0.116	2.94
6,530	12	0.0915	2.32
4,110	14	0.0726	1.84

Tabla 3.5.5. Calibre y Diámetro de Conductores

Cálculo de Potenciales en la Malla.

➤ Potencial de Contacto (**Potencial de Malla**).

$$E_m = \rho K_m K_i \frac{I_G}{L} \quad \dots 3.74$$

Donde:

K_m = Factor geométrico

K_i = Factor de Corrección

I_G/L = Densidad de corriente promedio por unidad de conductor enterrado.

ρ = Resistividad del terreno.

Cálculo de k_m :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \quad \dots 3.75$$

Donde:

$K_{ii} = 1$, para mallas con varillas a lo largo del perímetro ó con varillas en las esquinas de la malla ó con varillas a lo largo del perímetro y por toda la malla.

$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}}$, para mallas sin varillas de tierra o malla con solo algunas varillas, ninguna localizada en las esquinas ni en el perímetro.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}}$$

h = Profundidad de la malla (m)

$h_o = 1$ metro, (Profundidad de referencia de la malla)

D = Espaciamiento entre conductores (m).

n = Número de conductores de la malla (a-ancho + b-largo)

d = Diámetro del conductor (m).

Cálculo de K_i :

$$K_i = 0.656 + 0.172n \quad \dots 3.76$$

Cálculo de L :

Para mallas con varillas de tierra:

$$L = L_c + 1.15L_r \quad \dots 3.77$$

Donde:

L_c = Longitud de conductores enterrados en la malla.

L_r = Longitud total de las varillas de tierra.

El factor de multiplicación 1.15 toma en cuenta que la densidad de corriente es mucho mayor en las varillas cerca del perímetro que en los conductores.

Para mallas sin varillas o solamente algunas localizadas en la malla, pero lejos del perímetro:

$$L = L_c + L_r \quad \dots 3.78$$

➤ Potencial de Paso.

$$E_t = \rho K_s K_i \frac{I_G}{L} \quad \dots 3.79$$

Donde:

K_s = Factor geométrico

K_i = Factor de Corrección

I_G/L = Densidad de corriente promedio por unidad de conductor enterrado.

ρ = Resistividad del terreno.

Cálculo de k_s :

- Para una profundidad $0.25 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad \dots 3.80$$

- Para una profundidad menor que 0.25 m .

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right] \quad \dots 3.81$$

Donde:

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \dots + \frac{1}{n-1} \quad \dots 3.82$$

Ó para $n \geq 6$:

$$W \approx \frac{1}{2(n-1)} + \ln(n-1) - 0.423 \quad \dots 3.83$$

El uso de las diferentes ecuaciones para K_s depende de la profundidad de la malla, ya que el potencial de paso decrece rápidamente cuando se incrementa la profundidad.

➤ Limitaciones en el empleo de las ecuaciones. El uso de las ecuaciones anteriores, se recomienda los siguientes límites para **mallas cuadradas o rectangulares** que tengan el mismo número de conductores en ambas direcciones:

- $n \leq 25$
- $0.25 \text{ m} \leq h \leq 2.5 \text{ m}$
- $d < 0.25h$
- $D > 2.5 \text{ m}$

También para mallas rectangulares con conductores en ambas direcciones igualmente espaciados (retícula cuadrada), el valor de n para determinar los factores K_m y K_i para al cálculo de E_m , será la media geométrica del número de conductores en ambas direcciones:

$$n = \sqrt{n_A n_B} \quad \dots 3.84$$

El valor de n para determinar los factores K_s y K_i para el cálculo de E_s , será el máximo de n_A y n_B .

$$n = \text{máx}(n_A, n_B) \quad \dots 3.85$$

- Longitud mínima de conductor en la Malla. Considerando las ecuaciones anteriores, se puede determinar de manera preliminar, la cantidad de conductor necesaria para mantener el Potencial de Contacto bajo límites seguros. Así:

- Para $E_m < E_{\text{cont}50\text{kg}}$:

$$\frac{K_m K_i I_G \rho}{L} < (1000 + 1.5C(h, K)\rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t_S}} \quad \dots 3.86$$

Ordenando:

$$L > \frac{K_m K_i I_G \rho \sqrt{t_S}}{(116 + 0.174C(h, K)\rho_S)} \quad \dots 3.87$$

- Para $E_m < E_{\text{cont}70\text{kg}}$:

$$L > \frac{K_m K_i I_G \rho \sqrt{t_S}}{(157 + 0.235C(h, K)\rho_S)} \quad \dots 3.88$$

PARTE 4. DESARROLLO (Memoria Tipo)

4.1. Memoria Técnica Descriptiva.

4.1.1. PROYECTO HOSPITAL 30-60 CAMAS

Tipo de Hospital:	Materno Neonatal
Número de camas:	30 camas con crecimiento a 60 camas
Niveles:	3 niveles
m ² de construcción:	7673.47m ²
m ² de desplante:	2747.94m ²

4.1.2. INTRODUCCIÓN. Descripción general del tema del proyecto.

4.1.3. PROPUESTA. Localización del edificio.

4.1.4. DESCRIPCIÓN DE SERVICIOS. De Conjunto y por Niveles.

4.1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

- Tipo de Acometida de la compañía suministradora.
- Equipos en media y baja tensión con Protecciones.
- Trayectoria de los Alimentadores (conductores y canalizaciones).
- Ubicación de Equipos eléctricos y electrónicos.
- Sembrado de Luminarias (tipos) acorde a Niveles de Iluminación.
- Sembrado de Receptáculos (tipos)
- Especificación de Materiales. Calidad y Marcas.
- Especificaciones de ejecución. Calidad y Mano de Obra Calificada.
- Pruebas y Limpieza.

4.2. Memoria de Cálculo.

4.2.1. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN.

Cálculo tipo de Nivel de Iluminación

Se analiza la iluminación del local denominado “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA”, localizado en planta de 2º Nivel entre los ejes 10-11 y H-I.

1.- Condiciones de diseño.

hct= altura de cavidad de techo = 0.0 m
hcc= altura de cavidad de cuarto = 4.65 m
hcp= altura de cavidad de piso = 0.20 m
L = largo del local = 10.45 m
A = ancho del local = 7.40 m

S = superficie del local = 77.33 m²
 E = nivel lumínico deseado = 350 Lux
 NL = número de luminarios = 11 de 2x32W c/u
 Lm = lúmenes emitidos por cada luminario = 5,600 Lm
 TA = temperatura ambiente = 30°C (promedio)
 VT = Variación de tensión de equipos = +/- 10%
 Tono de techo = claro
 Tono de muro = claro
 Tono de piso = claro

2.- Calculo del nivel lumínico.

Aplicando la fórmula:

$$\text{Nivel en Lux} = \frac{\text{lumenes por Luminaria} \times \text{No. de Luminaria} \times C_u \times F_m}{\text{Área ó Superficie}}$$

C.U. = *coeficiente de utilización*

Para calcular el coeficiente de utilización, el índice de cuarto se determina por:

$$I_c = \frac{\text{Superficie}}{h_{cc} (\text{largo} + \text{ancho})}$$

Sustituyendo los valores mencionados en condiciones de diseño resulta:

$$I_c = \frac{77.33}{4.65 (10.45 + 7.40)} = 0.93$$

Considerando que la clasificación de los luminarios utilizados de acuerdo a su curva de distribución es de tipo directa, resulta que el coeficiente de utilización varía entre un máximo de 0.98 y un mínimo de 0.90 entre los 10° y 40° respecto al eje del mismo. Por lo que en nuestro caso aplicamos: C.U. = 0.51

F. M. = *factor de mantenimiento ó factor de pérdidas de luz.*

Para determinarlo se toman los siguientes factores:

Concepto	Valor De Depreciación
Variación de tensión (+/- 10%)	+/- 2.5 %
Depreciación por temperatura ambiente 30°C	0 %
Depreciación por deterioro en la superficie del luminario	0 %
Factor de balastro (electrónico)	5 %
Depreciación por suciedad acumulada en la superficie	5 %

del local (considerando un mantenimiento tipo hospital)	
Depreciación por lámparas quemadas o fundidas	0 %
Depreciación de lúmenes de la lámpara (L.L.D.)	17 %
Eficiencia del luminario (entre 65% y 70%)	35 %
Resultante	75.0 %

De acuerdo a lo anterior el Factor de Mantenimiento resulta igual a 75.0 %

Sustituyendo los valores obtenidos tenemos:

$$\text{Nivel en Lux} = \frac{5600 \times 11 \times 0.51 \times 0.75}{77.33} = 304.6 \text{ lux}$$

4.2.2. CALCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELECTRICA DE ALUMBRADO.

Utilizando la expresión de la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA):

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada de Alumbrado}}{\text{Área total Iluminada}} \left(W/m^2 \right)$$

Considerando que nuestro edificio ha sido diseñado y construido para un uso único (Hospital), la DPEA máxima permisible tiene un valor de **17.0 (W/m²)**.

La carga total de alumbrado = 80,183.0 Watts y la Superficie a Iluminar = 7,673.0 m²; así:

$$DPEA = \frac{80,183.0}{7,673.0} = 10.45 \left(W/m^2 \right)$$

Concluyendo que el valor obtenido está dentro del rango permitido por la norma.

Ver Cuadro Resumen en Tabla No. 1

TABLA N° 1 (Continuación)		ALUMBRADO DE INTERIORES; NOM-007-ENER-2004				
Cálculo de los Niveles de Iluminación por el Metodo de Lumen y de la DPEA						
Descripción general del inmueble	Edificio Destinado Atención a la Salud					
No. De Edificio						
Descripción del Local (uso)						
Descripción de luminario a utilizar en los locales	I. Luminario fluorescente Mca. Cooper Lighting No. Cat. CG8-232A (2X32W) de Empotrar con 1 balastro electronico de 2X32W, 127V.					
	II. Luminario fluorescente Mca. Cooper Lighting Cat.H226(2x26w), Tipo Empotrar con balastro electronico de 2x26w, 127V.					
Luminarios Empleados		I	II	I		
		2N7	2N8	S.E.		
Nº de locales idénticos	local	1.00	1.00	1.00		
Nivel de iluminación requerido E (SMII)	lux	300.00	300.00	300.00		
largo del local	mts	12.35	15.07	10.45		
Ancho del local	mts	6.56	5.73	7.40		
Altura del local	mts	3.60	3.60	4.65		
Área del local	mts ²	81.02	86.35	77.33		
Altura de montaje del luminario	mts	3.60	3.60	4.65		
Altura del plano de trabajo	mts	0.75	0.75	0.20		
Numero de lámparas por luminario	pza	2.00	2.00	2.00		
Flujo luminoso inicial por lámpara	lm	2,800.00	860.00	2,800.00		
Factor de depreciación (FD)	%	1.00%	1.00%	1.00%		
Flujo luminoso total por luminario	lm	5,544.00	1,702.80	5,544.00		
Potencia lámpara-balastro-control	W	64.00	52.00	64.00		
Factor de mantenimiento (FM)	- o -	0.75	0.75	0.75		
Reflectancia de techo	%	80.00%	80.00%	80.00%		
Reflectancia de pared	%	40.00%	40.00%	40.00%		
Reflectancia de pisos	%	20.00%	20.00%	20.00%		
Altura de la cavidad de techo	mts	0.00	0.00	0.00		
Altura de la cavidad de cuarto	mts	2.85	2.85	4.45		
Altura de la cavidad de piso	mts	0.75	0.75	0.20		
Relación de cavidad de cuarto (RCC)	- o -	3.33	3.43	5.14		
Coefficiente de utilización (CU)	- o -	0.50	0.70	0.51		
Bonificación por controles automáticos	- o -	0.00	0.00	0.00		
NIVEL de iluminación OBTENIDO E (SMII)	lux	256.616	217.4074	301.6472		
Número de luminarios requeridos	pza	10.00	21.00	11.00		
Potencia instalada en el local	W	640.00	1,092.00	704.00		
Densidad de Potencia Eléctrica (DPEA)	W/m ²	7.90	12.65	9.10		
Se cumple con la NOM-007	- o -	SI	SI	SI		
Área total de los locales	mts ²	81.02	86.35	77.33		
Potencia total de los locales	W	640.00	1,092.00	704.00		
Densidad de Potencia Eléctrica total	W/m ²	7.90	12.65	9.10		
Notas generales y observaciones						

4.2.3. CÁLCULO DE COMPONENTES DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Considerando la documentación técnica descrita, se procede a la Cuantificación de la Carga Total Instalada y Demandada.

$$\underline{Carga\ Total\ Instalada = 969.159\ kW}$$

$$\underline{Factor\ de\ Demanda = 70\%}$$

$$\underline{Carga\ Total\ Demandada = 678.411\ kW}$$

4.2.3.1. Cálculo de Conductores, Protecciones y Canalizaciones.

- Cálculo Tipo: Circuitos Derivados (Alumbrado)

Se toma por ejemplo el alimentador al circuito derivado monofásico a 127 V (2 hilos) A-1 (circuito 1 del Tablero “A”):

a) Cálculo del conductor del circuito derivado por capacidad de corriente:

$$I_n = \frac{936}{127 * 0.9} = 8.18\ A$$

Con la corriente obtenida y corregida por temperatura y agrupamiento se procede a consultar en la Tabla correspondiente el tamaño del conductor de cobre aislado que soporte dicha corriente (en la columna de 60°C de temperatura), donde se observa que el tamaño de 3.31 mm² (calibre # 12) es el adecuado, ya que éste soporta una corriente de hasta 25 Amperes (Considerando que se instalará en canalización cerrada).

b) Cálculo de la sección transversal del conductor.

Establecemos como máxima caída de tensión en el circuito de 2.4 %, es decir %e = 2.4 y una distancia de 30.0 mts, obteniendo:

$$S = \frac{4 * 30.0 * 8.18}{127 * 2.5} = 3.22\ mm^2$$

Consultando la tabla 10-5 Dimensiones de los conductores aislados, encontramos que el tamaño igual o inmediatamente superior es el 3.31mm² (calibre # 12).

c) Cálculo por Caída de Tensión del conductor del circuito derivado:

Con los datos obtenidos:

$$e\% = \frac{4 * 30.0 * 8.18}{127 * 3.31} = 2.33\ \%$$

Por lo que se observa que el tamaño del conductor de 3.31 mm² (calibre # 12), es el adecuado, ya que la caída de tensión entre el alimentador principal y los circuitos derivados (ver cuadros de cargas), no excede del 5%, de acuerdo a lo que recomienda la *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización)*.

d) Selección de la Protección:

La protección la seleccionamos con la corriente nominal, el tamaño del conductor (capacidad de conducción de corriente) y considerando un factor de 125%; ya que se trata de cargas continuas, cuya capacidad inmediata superior es 1P-15 A.

e) Selección del tamaño del conductor de Puesta a Tierra.

El tamaño nominal mínimo del conductor de Puesta a Tierra se determina en función del ajuste nominal de disparo de la protección contra sobre corriente indicada en la tabla 250-95 de la citada norma, siendo de 2.08 mm² (cal. # 14), pero seleccionamos el tamaño de 3.31 mm² (cal. # 12).

f) Dimensión de la Canalización.

La dimensión o Tamaño de la canalización la obtenemos de la siguiente manera: Apoyándonos en las Tablas 10-1, 10-4 y 10-5 de la citada norma, tenemos:

Tamaño de los conductores por circuito (mm ²)	2 (11.7)=23.40
Tamaño del conductor de Puesta a Tierra (mm ²)	1(3.31)=3.31
Total del área requerida por los conductores por circuito (mm ²)	26.71
Tipo de canalización	Tubo conduit semipesado y/o ligero. (60 mm ²)

▪ Cálculo Tipo: Circuitos Derivados (Receptáculos)

Se toma por ejemplo el alimentador al circuito derivado monofásico a 127 V (2 hilos) A-14 (circuito 14 del Tablero “A”):

El cálculo es análogo al desarrollado para el circuito de Alumbrado.

▪ Cálculo Tipo: Circuitos Derivados (Motores Eléctricos)

Un Solo Motor.

Se toma como ejemplo el alimentador al circuito derivado trifásico a 220 V (3 hilos) AAE1-19,21,23 (circuito 19,21,23 del Tablero “AAE1”):

a) Cálculo del conductor del circuito derivado por capacidad de corriente:

Para este caso, se trata de un motor eléctrico con datos propuestos de 5.0 H.P. trifásico a 220V, para un equipo de Aire Acondicionado, cuyo consumo de corriente está determinado por los datos de placa, pero a falta de éstos se toma como valor veraz el indicado en las Tablas 430-148, 430-149, 430-150 de la sección correspondiente a motores eléctricos.

El valor de la corriente del motor obtenido de Tablas es: $I = 16.7 \text{ A}$

Con la corriente obtenida se procede a consultar en la Tabla correspondiente, el tamaño del conductor de cobre aislado que soporte dicha corriente (columna de 60°C de temperatura), donde se observa que el tamaño de 3.31 mm^2 (calibre # 12) es el adecuado, ya que éste soporta una corriente de hasta 25 Amperes (Considerando que se instalará en canalización cerrada).

b) Cálculo de la sección transversal del conductor.

Establecemos como máxima caída de tensión en el circuito de 1.5 %, es decir $e = 1.5$, y una distancia de 23.0 mts, obteniendo:

$$S = \frac{2 * 23.0 * 16.7}{127 * 1.5} = 4.03 \text{ mm}^2$$

Consultando la tabla 10-5 Dimensiones de los conductores aislados, encontramos que el tamaño igual o inmediatamente superior es 5.26 mm^2 (calibre # 10), seleccionándolo como adecuado.

c) Cálculo por Caída de Tensión del conductor del circuito derivado:

Con los datos obtenidos y distancia de 23.0 mts del circuito hasta el Tablero “AAE1”

$$e\% = \frac{2 * 23.0 * 16.7}{127 * 5.26} = 1.15 \%$$

Por lo que se observa que el tamaño del conductor de 5.26 mm^2 (calibre # 10), es el adecuado, ya que la caída de tensión entre el alimentador principal y los circuitos derivados (ver cuadros de cargas), no excede del 5%, de acuerdo a lo que recomienda la *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización)*.

d) Selección de la Protección:

Protección por sobrecarga con la corriente nominal afectada por un 15 al 40% dependiendo el arranque (arrancador y elementos térmicos o relevadores) del propio motor, el tamaño del conductor más un factor de 25%, y la Protección contra corto circuito con la corriente nominal afectada por 200 al 800% dependiendo el tipo de protección (fusible o interruptor termo magnético), por lo que seleccionamos el de capacidad inmediata inferior de 3P-30 A de acuerdo a la Norma en cuestión.

e) Selección del tamaño del conductor de Puesta a Tierra.

El tamaño del conductor de Puesta a Tierra (Física y/o Aislada) para equipos y/o canalizaciones se determina en función del ajuste nominal de disparo de la protección contra sobre corriente indicada en la tabla 250-95 de la citada norma, por lo que seleccionamos el tamaño de 5.26mm² (calibre # 10). Pero como el conductor fue seleccionado por Caída de Tensión (1.59 veces más), el conductor de puesta a Tierra debe seleccionarse proporcionalmente, por lo que el tamaño de dicho conductor será:

$$5.26(1.59) = 8.36 \text{ mm}^2$$

f) Dimensión de la Canalización.

La dimensión o Tamaño de la canalización la obtenemos de la siguiente manera: Apoyándonos en las Tablas 10-1, 10-4 y 10-5 de la citada norma, tenemos:

Tamaño de los conductores por circuito (mm ²)	3 (15.7)=47.1
Tamaño del conductor de Puesta a Tierra (mm ²)	1(8.36)=8.36
Total del área requerida por los conductores por circuito (mm ²)	55.46
Tipo de canalización	Tubo conduit semipesado y/o ligero. (78mm ²)

Uno y más Motores. (Ver cálculo tipo de Alimentador a Tablero).

- Cálculo Tipo: Alimentador a Tablero

Se toma por ejemplo el alimentador al Tablero 'AAE1' trifásico a 220 V (3 Fases-4 hilos):

a) Cálculo del conductor del circuito alimentador por capacidad de corriente:

Tablero	'AAE1' (Watts)	Corriente I _{ac} (A)	Corriente Total (A)
Carga Total	73,069.0		
(-) Carga de Motores	72,749.0		
Carga de Alumbrado y Contactos	320.0	2.79	
Carga de Motores	$I_m \cdot (1.25) + \sum I_m + I_{ac}$		332.59

Con la corriente obtenida se procede a consultar en la Tabla 310-17, el tamaño del conductor de cobre aislado que soporte dicha corriente (columna de 75°C de temperatura y para material de Cobre, ya que rebasa los 100 amperes), donde se observa que el tamaño de 107 mm² (calibre # 4/0) es el adecuado, ya que éste soporta una corriente de hasta 360 Amperes (Considerando que se instalará al aire libre en canalización Soporte para cable tipo charola); pero por cuestiones de mantenimiento, funcionamiento, instalación, manipulación, etc., se instalarán dos conductores en paralelo, dividiendo la corriente entre dos y así obtener el tamaño adecuado.

b) Cálculo de la sección transversal del conductor.

Con una caída de tensión máxima en el circuito de 3.5%, y una distancia de 90.0 mts.:

$$S = \frac{2 * 90.0 * \left(\frac{332.59}{2}\right)}{127 * 3.5} = 67.34 \text{ mm}^2$$

Consultando la tabla 10-5 Dimensiones de los conductores aislados, encontramos que el tamaño igual o inmediatamente superior es 67.40 mm² (calibre # 2/0), aquí observamos que corresponde con el seleccionado por corriente para su instalación en paralelo.

c) Cálculo por Caída de Tensión del conductor alimentador:

$$e\% = \frac{2 * 90.0 * \left(\frac{332.59}{2}\right)}{127 * 67.4} = 3.49 \%$$

Se observa que el tamaño del conductor de 67.4 mm² (calibre # 2/0) por dos en paralelo, es el adecuado, ya que la caída de tensión entre el alimentador principal y los circuitos derivados, no excede del 5%, de acuerdo a lo que recomienda la *NOM-001-SEDE-2005*.

d) Selección de la Protección:

Con la protección mayor de los motores, más las corrientes nominales de los motores menores y las cargas de alumbrado y/o receptáculos, obtenemos una de 3P-350 A.

e) Selección del tamaño del conductor de Puesta a Tierra.

El tamaño del conductor de Puesta a Tierra (Física y/o Aislada) para equipos y/o canalizaciones se determina en función del ajuste nominal de disparo de la protección contra sobre corriente indicada en la tabla 250-95 de la citada norma, obteniendo el tamaño de 21.15 mm² (calibre # 2).

f) Dimensión de la Canalización.

La dimensión o Tamaño de la canalización la obtenemos apoyándonos en las Tablas 10-1, 10-4, 10-5 y 10-8 de la citada norma, tenemos:

Tamaño de los conductores por circuito (mm ²)*	8 (169.0) = 1,352.0
Tamaño del conductor de Puesta a Tierra (mm ²)*	2(33.6) = 67.20
Total del área requerida por los conductores por circuito (mm ²)	1,419.2
Tipo de canalización	Soporte Para Cable tipo Charola (30cm, 5.81cm Per-Útil)

* Conductores instalados en una solo capa y separados un diámetro del mismo conductor.
(Ver Cuadros de Cargas del Tablero A y AAE1 ejemplos. ANEXO A)

4.2.4. CÁLCULO DE CORTO CIRCUITO

Se considera el punto de falla en la barra (bus) del tablero general donde convergen las corrientes de corto circuito; empleando el método de *valores en por unidad* y con la aplicación del teorema de Thévenin obtenemos una impedancia equivalente y un voltaje en el punto de falla.

Datos en el punto de acometida.

Voltaje nominal: 23.0 kV

No. De Fases: 3

No. De Hilos: 3

Frecuencia: 60 Hz

Potencia de corto circuito 3Ø (dato teórico) =400 MVA

Transformador: Seco, 750 kVA, 3Ø, Delta-Estrella; 23.0-0.220/0.127 kV; Z = 5.25%

Procedimiento de cálculo y consideraciones generales.

El cálculo de las corrientes de falla se efectúa con base en el “*Método en Por Unidad*”, de acuerdo con el procedimiento guía de los estándares Std 141, Std 241 y Std 242 de la IEEE, que considera como punto de partida del análisis de las corrientes de corto circuito, la obtención de los valores de impedancias tanto de los elementos que aportan, como de los que limitan las corrientes de falla. Este método considera, pero no se limita a los siguientes pasos para su desarrollo:

- 1.- Trazar un Diagrama Unifilar. Considerando los elementos que contribuyen (red, motores y generadores) o limitan (transformadores y cableados) a las corrientes de corto circuito, indicando las características de cada uno de ellos.
- 2.- Puntos de falla a analizar. Dependiendo de las condiciones de operación del sistema, previendo las situaciones más desfavorables y asignando números a los buses para una fácil identificación de la fallas.
- 3.- Seleccionar los valores de potencia y voltaje base apropiados. Generalmente para la potencia base se toma la potencia del transformador principal, y se tendrán tantos voltajes base como niveles de tensión existan en el sistema.
- 4.- Obtener los valores de impedancia. Con información proporcionada por el fabricante, se transforman a valores en *por unidad* con la base seleccionada.

Para la impedancia del Sistema o de la Red se calcula con la siguiente expresión:

$$Z_{PUACM} = \frac{kVA_B}{P_{CCRED}}$$

La impedancia de alimentación Acometida-Transformación la designamos como Z_{RED} , con:

$$Z_{RED} = Z_{PUACM} + Z_{PUCA} + Z_{PUTRP}$$

Dónde: Z_{PUCA} es la impedancia en por unidad de los cables de la acometida, (si la longitud de los cables de acometida es menor a 3 mts, la impedancia la consideramos cero) y Z_{PUTRP} es la impedancia en por unidad del *transformador principal*, y se obtiene por la ecuación:

$$Z_{PUTRP} = \frac{Z\%_{TRP}}{100}$$

En el caso de que dentro del sistema, aguas abajo de la acometida, se tengan más *transformadores*, con una potencia nominal distinta a la potencia base, se aplica la siguiente ecuación para determinar su impedancia en por unidad:

$$Z_{PUTR} = \left(\frac{Z\%_{TR} * kVA_B}{kVA_{NOM}} \right) / 100$$

La impedancia en por unidad de las *maquinas rotatorias síncronas y de inducción* se componen de resistencia y reactancia, se obtienen con:

$$Z_{PUMOT} = \sqrt{X_{PUMOT}^2 + R_{PUMOT}^2}$$

Donde la reactancia en por unidad del motor se calcula por la siguiente ecuación:

$$X_{PUMOT} = \frac{X_{PUNOM} * kVA_B}{CP_{NOM}}$$

Para la X_{PUNOM} (reactancia en por unidad nominal), se toma un valor estimado de 0.28 PU, para motores menores a 50CP's, (tabla 4-2 de IEEE Std 141), valores típicos de reactancia para maquinas rotatorias de inducción en PU a los kVA base. Para fines de cálculo, los motores individuales son los que tienen potencias nominales de 5CP's y mayores, mientras que los motores menores se agrupan para formar conjuntos de más de 3CP's.

Con sistemas de voltaje hasta 600 Volts, la resistencia deben considerarse; y ésta se obtiene de la *relación X/R*, que típicamente toma un valor de 6.6, (IEEE Std C37.010 y Std 141).

5.- Trazar un diagrama de impedancias. Sustituyendo los elementos del diagrama unifilar del paso 1, por sus respectivas impedancias cuyos valores se expresen en por unidad. Se marcan los puntos en los que se considerará la posible falla, una por cada bus del sistema.

6.- Reducir las reactancias. Obtener una equivalente que incluya todas las reactancias del sistema convergiendo al punto de falla; para reactancias en serie la ecuación es:

$$Z_{EQ} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n$$

Para el caso de dos reactancias en paralelo tenemos:

$$Z_{EQ} = \frac{Z_1 * Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Para más de dos reactancias en paralelo:

$$\frac{1}{Z_{EQ}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

7.- Determinar el valor de la corriente de corto circuito simétrica 3Ø con:

$$I_{CC3\phi SIM} = \frac{kVA_B}{\sqrt{3} * kV * Z_{PUEQ}}$$

Donde Z_{PUEQ} es la impedancia equivalente total para la falla en estudio.

Ver plano DUG1 con todos los componentes del sistema y plano DUG2 con los componentes que aportan a la corriente de corto circuito, donde se marcan los puntos de falla a estudiar. ANEXO A.

Obtención De Impedancias En Por Unidad

Cálculo de Z_{ACM} .-

$$Z_{PUACM} = \frac{750}{40000} = 0.00187 pu$$

Cálculo de Z_{PUTRP} .- valor base:

$$Z_{PUTRP} = \frac{5.25}{100} = 0.0525 pu$$

Cálculo de Z_{PUBI} .- en CP's del motor de una de las bombas del hidroneumático será:

$$X_{PUBI} = \frac{0.28 * 750}{7.5} = 28 pu$$

La resistencia la obtenemos con:

$$R_{PUBI} = \frac{28}{6.6} = 4.2424 pu$$

Por lo que:

$$Z_{PUBI} = \sqrt{28^2 + 4.2424^2} = 28.3196 pu$$

De igual forma se calcula el resto de los motores involucrados:

Tablero (3)FZA-1E						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq3 (pu)
BV1	7.50	0.28	28.0000	4.2424	28.3196	9.9951
COMP1	10.00	0.28	21.0000	3.1818	21.2397	
BAC1	3.00	0.28	70.0000	10.6061	70.7989	
REC1	0.50	0.28	420.0000	63.6364	424.7936	
REC2	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	

Tablero (4)FZA-2E						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq4 (pu)
B3	7.50	0.28	28.0000	4.2424	28.3196	7.9164
BRIEGO	5.00	0.28	42.0000	6.3636	42.4794	
BACH1	0.33	0.28	636.3636	96.4187	643.6266	
TPTAZeq5					15.1712	

Tablero (5)PTA						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq5 (pu)
COMP1	10.00	0.28	21.0000	3.1818	21.2397	15.1712
BACH1PTA	2.00	0.28	105.0000	15.9091	106.1984	
BACH2PTA	2.00	0.28	105.0000	15.9091	106.1984	

Tablero (1)AAN1						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq1 (pu)
UP1	9.9	0.28	21.2121	3.2140	21.4542	4.6324
UP3	8.8	0.28	23.8636	3.6157	24.1360	
UC4	17.9	0.28	11.7318	1.7776	11.8657	
UMA4	5	0.28	42.0000	6.3636	42.4794	
ULA1	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	
VE09	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	
VE11	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	
VE16	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	
VE02	0.5	0.28	420.0000	63.6364	424.7936	
VE03	0.5	0.28	420.0000	63.6364	424.7936	
VE04	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	

Tablero (2)AAN2						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq2 (pu)
UP2	9.90	0.28	21.2121	3.2140	21.4542	2.8039
UC3	18.70	0.28	11.2299	1.7015	11.3581	
UC5	16.50	0.28	12.7273	1.9284	12.8725	
UC8	6.90	0.28	30.4348	4.6113	30.7821	
UMA3	7.50	0.28	28.0000	4.2424	28.3196	
UMA5	5.00	0.28	42.0000	6.3636	42.4794	
UMA8	1.50	0.28	140.0000	21.2121	141.5979	
VI1	5.00	0.28	42.0000	6.3636	42.4794	
VE13	3.00	0.28	70.0000	10.6061	70.7989	
VE7	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	
VE10	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	
VE14	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	
VE15	0.50	0.28	420.0000	63.6364	424.7936	
VE17	0.50	0.28	420.0000	63.6364	424.7936	

Tablero (6)HID						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq6 (pu)
BHID1	7.50	0.28	28.0000	4.2424	28.3196	27.1260
BACH-HID	0.33	0.28	636.3636	96.4187	643.6266	

Tablero (8)AAE2						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq8 (pu)
VE6	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	252.8533
VE12	0.09	0.28	2,333.3333	353.5354	2,359.9643	

Tablero (7)AAE1						
Motor	CP	X"d (pu) nom	X" (pu) mot	R (pu) mot	Z (pu)	Zeq7 (pu)
UC1	19.20	0.28	10.9375	1.6572	11.0623	2.1874
UC2	24.90	0.28	8.4337	1.2778	8.5300	
UC6	14.70	0.28	14.2857	2.1645	14.4488	
UC7	6.80	0.28	30.8824	4.6791	31.2348	
UMA1	7.50	0.28	28.0000	4.2424	28.3196	
UMA2	15.00	0.28	14.0000	2.1212	14.1598	
UMA6	5.00	0.28	42.0000	6.3636	42.4794	
UMA7	3.00	0.28	70.0000	10.6061	70.7989	
VE05	0.75	0.28	280.0000	42.4242	283.1957	
VE08	0.25	0.28	840.0000	127.2727	849.5872	

Tablero 9TGE2		Zeq9 (pu)
(pu)		
Zeq3	9.9951	1.2963
Zeq4	7.9164	
Zeq6	27.126	
Zeq7	2.1874	
Zeq8	252.8533	
ELEV2	21.2397	

Tablero 10TGN		Zeq10 (pu)
(pu)		
Zeq1	4.6324	0.6954
Zeq2	2.8039	
ELEV1	21.2397	
ELEV3	21.2397	
Zeq9	1.2963	

(Ver DIAGRAMAS de Impedancias. ANEXO A)

Calculo de Corrientes de Falla Trifásica

Falla N° 1.- lado de media tensión de la subestación eléctrica, bus de 23 kV.

$$I_{cc3\phi SIM} = \frac{kVA_B}{\sqrt{3} * kV * Z_{TH}} = \frac{750}{\sqrt{3} * 23 * 0.0018}$$

Por lo tanto: $I_{CC3\phi SIM F1} = 10,459.24 \text{ Amperes } \acute{o} \underline{10.46 \text{ kA}_{SIM}}$

El medio de interrupción, puede ser de una capacidad interruptiva (CI) normal.

Falla N° 2.- lado de baja tensión del transformador, bus de 0.220 kV:

$$I_{cc3\phi SIM F2} = \frac{750}{\sqrt{3} * 0.22 * 0.0504}$$

$$I_{CC3\phi SIM F2} = 39,052.37 \text{ Amperes } \acute{o} \underline{39.05 \text{ kA}_{SIM}}$$

Se seleccionan protecciones comerciales con valor de 35 kA.

No se considera la aportación de la bomba contra incendio (BCI) y Jockey.

Cálculo de la Corriente de Corto Circuito Monofásico

Corriente máxima de falla de fase a tierra. Obtener la corriente máxima en el secundario del transformador de 750 kVA, con impedancia de 5.25% (dato de placa) y 220V con:

$$I_{SEC} = \frac{kVA * 1000}{\sqrt{3} * 220} = \frac{750 * 1000}{\sqrt{3} * 220} = 1,968.24 \text{ A}$$

La corriente de cortocircuito simétrica máxima es:

$$I_{CCMAX} = \frac{100\% * I_{SEC}}{Z\%}$$

Sustituyendo valores:

$$I_{CCMAX} = \frac{100\% * 1968.24}{5.25\%} = 37,490.28 \text{ A}$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será (con un Factor de Asimetría igual a 1.25):

$$I_{CCASIM} = I_{CCMAX} * F_{ASIM}$$

Por lo que finalmente tenemos:

$$I_{CCASIM} = 37,490.28(1.25) = 46,862.86 \text{ A } \acute{O} \underline{46.86 \text{ kA asimétricos}}$$

4.2.5. SISTEMA DE TIERRA

Con referencia a los resultados obtenidos y la adición de otros parámetros se prosigue a diseñar el sistema de tierras mínimo requerido, cuyos parámetros y resultados estén dentro de los valores mínimos de seguridad para las personas, los equipos e instalaciones.

Primeramente se deberá conocer el tipo de suelo y su resistividad, donde se ubicará el espacio que ocupará la Subestación Eléctrica, y las dimensiones del área.

Obteniendo la corriente simétrica de falla.

Considerando que:

$$I_g = S_f I_f \quad \text{si } S_f = 1 \quad \text{e} \quad I_f = F_{\text{asim}} \times I_{\text{ccmáx}} = 1.15 \times 39,052.37 = 48,815.46 \text{ A}$$

Entonces:

$$I_g = 48,815.46 \text{ A}$$

$$I_G = C_p D_f I_g \quad \text{con } C_p = 1$$

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left[1 - e^{-2\frac{t_f}{T_a}} \right]} \quad \text{si } t_f = 0.5 \text{ seg.} \quad \text{y} \quad T_a = \frac{X''}{wR} = \frac{X}{R} = 20$$

$$\text{Entonces:} \quad D_f = 1.052$$

$$\text{Por lo tanto:} \quad I_G = 1 * 1.052 * 48,815.46 = 51,353.86 \text{ A}$$

Obteniendo la resistencia a tierra.

Considerando la profundidad de la malla estará a $h = 0.80$ mts:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Dónde:

$$\rho = 50 \Omega \text{ m}$$

$$A = 70 \text{ m}^2$$

$$L = 69 \text{ m}$$

$$\text{Por lo tanto:} \quad R_g = 0.725 \Omega$$

Obteniendo las Tensiones de Paso y de Contacto máximos.

- Tensión de paso 50 kgrs.

$$E_{paso50kg} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

- Tensión de Contacto 50 kgrs.

$$E_{paso50kg} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Como:

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} = 0.7808$$

Con:

ρ_s = Resistividad de la capa superficial (concreto) = 1000 Ω m

h_s = Espesor de la capa superficial = 0.15 m

Por lo tanto:

$$E_{paso50kg} = 659.42 \text{ V}$$

$$E_{contacto50kg} = 251.86 \text{ V}$$

Considerando $h_s = 0.15$ m y $K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = 0.905$

Por lo tanto:

$$E_{paso50kg} = 1,629.88 \text{ V}$$

$$E_{contacto50kg} = 1,157.47 \text{ V}$$

Determinando la sección transversal del conductor.

Considerando:

$$I = 3I_o = 39,052.37 \text{ A} \quad \text{y} \quad A_{mm^2} = \frac{I}{\sqrt{\frac{TCAP \times 10^{-4}}{T_c \alpha_r \rho_r} \ln \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}}}$$

Dónde:

A = Sección transversal del conductor mm^2

I = Corriente rms kA = 39.05 kA

T_m = Temperatura máxima permisible (de fusión) = 1084 °C

T_a = Temperatura ambiente = 35 °C

T_r = Temperatura de referencia para constantes del material = 20 °C

α_0 = Coeficiente térmico de resistividad a 0 °C en (1/°C) = 0.00413

α_r = Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r en (1/°C) = 0.00381

ρ_r = Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r en ($\mu\Omega$ -cm) = 1.78

t_c = tiempo de duración de la corriente = 0.5 seg.

TCAP = Factor de Capacidad térmica por unidad de volumen = $3.42 \text{ J}/(\text{cm}^3\text{C})$

$$K_0 = \frac{1}{\alpha_0} = 242.13 \quad K_0 = \left(\frac{1}{\alpha_r}\right) - T_r = 242.47$$

Por lo tanto:

$$A = 98.313 \text{ mm}^2$$

El tamaño comercial del conductor es el correspondiente al 107.2 mm^2 (4/0 awg)

CONCLUSIONES.

En el desarrollo de mi preparación académica las bases teóricas son fundamentales, pero considero que se debe tener un vínculo más estrecho con lo que sucede en el campo laboral.

Como se ha podido apreciar a lo largo de este trabajo, los parámetros de diseño que intervienen para elaborar el desarrollo de los proyectos tanto de Iluminación como de Instalación Eléctrica, pueden ser sencillos, moderados y complejos, dependiendo de que tanto queramos que nuestra instalación al ejecutarla brinde la seguridad y confiabilidad en su utilización y operación.

Es decir, por un lado, no podemos determinar un nivel de iluminación de un hospital con parámetros de una fábrica, oficinas o industria, ya que la vida del usuario depende de la visibilidad con la que pueda hacer su trabajo el personal que labora en este tipo de edificios.

Por el otro lado, al igual que con la iluminación, los parámetros de diseño de la instalación eléctrica, deben ser 'seleccionados' de la manera más rigorista que se pueda, ya que el mal funcionamiento de los equipos médicos debido a la falta de importancia que se le da a dichas instalaciones, puede derivarse en la seguridad de las personas atendidas en estos centros de atención a la salud e incluso la muerte misma.

Aunado a lo anterior, es necesario tener una vinculación o coordinación, entre el personal que desarrollará los proyectos y el personal usuario operario (médicos y enfermeras) de estos centros (hospitales), ya que de éstos depende en gran medida que dichos proyectos cumplan con sus expectativas y/o requerimientos.

Por último, en la actualidad existen normas que nos sirven de guía y en las cuales debemos apoyarnos para cumplir con ciertos parámetros.

Por todo lo anterior, la investigación y la recopilación de datos junto con la aplicación de los términos técnicos relacionados, es la base para desarrollar cualquier tipo de proyecto no dejando de lado la normatividad vigente aplicable.

BIBLIOGRAFÍA.

Manual de Alumbrado	Westinhouse
Instalaciones Eléctricas Prácticas	Ing. Diego Onésimo Becerril López
Cálculo de Corto Circuito (CIME)	M. en I. Rodolfo Lorenzo Bautista
Sistemas de Tierra (CIME)	M. en I. Rodolfo Lorenzo Bautista
Curso Artículo 517 Hospitales (SMIH)	Ing. Saúl E. Treviño García
NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas 'Utilización'	Secretaría de Energía. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana.
NOM-007-ENER-2004 Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en Edificios No Residenciales	Secretaría de Energía. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana.
NOM-013-ENER-2004 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en Vialidades y Áreas Exteriores Públicas.	Secretaría de Energía. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana.
NRF-011-CFE Sistema de Tierra para Plantas y Subestaciones Eléctricas.	Comisión Federal de Electricidad CFE. Norma de Referencia.

ANEXO A

Cuadros de Cargas; Diagrama Unifilar General; Diagramas

APÉNDICE A. Niveles de Iluminación medios recomendados en México. (Extracto)

Hospitales		
A R E A	IESNA(lux)	SMII(lux)
"Sala de preparación y anestesia"	300	200
<i>Autopsia y anfiteatro</i>		
"Mesa de autopsia"	25000	14000
"Sala de autopsia (iluminación general)"	1000	600
"Anfiteatro (iluminación general)"	200	100
<i>"Central de instrumentos esterilizados"</i>		
"Iluminación general"	300	200
"Afilado de agujas"	1500	900
<i>"Sala de Cistoscópica"</i>		
"Iluminación general (Cistoscópica)"	1000	600
"Mesa Cistoscópica"	25000	14000
<i>"Sala dental"</i>		
"Cuarto de espera"	300	200
"Cirugía dental (iluminación general)"	700	400
"Silla dental"	10000	6000
"Laboratorio (banco de trabajo)"	1000	600
"Sala de recuperación"	50	30
<i>"Sala de electroencefalogramas"</i>		
"Oficina"	1000	600
"Cuarto de trabajo"	300	200
"Sala de espera"	300	200
<i>"Sala de Emergencia"</i>		
"Iluminación General (Sala de Emergencia)"	1000	600
"Iluminación localizada (Sala de Emergencia)"	20000	9000
<i>"Sala de electrocardiogramas de metabolismo y de muestras"</i>		
"Iluminación general (electrocardiogramas)"	200	100
"Mesa de muestras"	500	300
<i>"Salas de reconocimiento y tratamiento"</i>		
"Iluminación general (reconocimiento y tratamiento)"	500	300
"Mesas de reconocimiento"	1000	600
<i>"Sala de fracturas"</i>		
"Iluminación General (fracturas)"	500	300
"Mesa de fracturas"	2000	1100
<i>"Laboratorio"</i>		
"Cuartos de ensayo"	300	200
"Mesas de trabajo"	500	300
"Vestíbulo"	300	200
"Salas de reposo"	300	200

"Cuartos para archivar historias clínicas"	1000	600
"Sala de rayos X"		
"Radiografía y fluoroscopia"	100	60
"Terapia superficial y profunda"	100	60
"Cuarto oscuro"	100	60
"Sala para ver placas"	300	200
"Archivos, revelado"	300	200
"Closet de blancos"	100	60
"Obstetricia"		
"Cuarto de limpieza (instrumentos)"	300	200
"Sala de preparación"	200	100
"Sala de partos (iluminación general)"	1000	600
"Mesa para partos"	25000	14000
"Farmacia"		
"Iluminación general (farmacia)"	300	200
"Mesa de trabajo"	1000	600
"Almacén activo"	300	200
"Cuartos privados y salas comunes"		
"Iluminación general (salas privadas y comunes)"	100	60
"Iluminación localizada (lectura)"	300	200
"Área para desequilibrados mentales"	100	60
"Tratamiento con isótopos radioactivos"		
"Laboratorio radio-químico"	300	200
"Mesa de reconocimiento"	500	300
"Cirugía"		
"Cuarto de limpieza (instrumentos)"	1000	600
"Sala de operaciones, iluminación general"	1000	600
"Lavabo de cirujano"	300	200
"Mesa de operaciones"	25000	14000
"Sala de restablecimiento"	300	200
"Terapia"		
"Física"	200	100
"Ocupacional"	300	200
"Salas de espera"	300	200
"Cuartos de utilería"	200	100
"Puesto de enfermeras"		
"Iluminación General (enfermeras)"	200	100
"Escritorio"	500	300
"Mostrador para medicinas"	1000	600

APÉNDICE B. Tablas (NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas ‘Utilización’)

TABLA 310-13.- Conductores-Aislamientos y usos

Nombre genérico	Tipo	Temp. máxima de operación °C	Usos permitidos	Tipo de aislamiento	Tamaño o Designación		Espesor nominal de aislamiento mm	Cubierta exterior ⁽¹⁾	
					mm ²	AWG o kcmil			
Etileno Propileno Fluorado	FEP o FEPB	90	Lugares secos o húmedos	Etileno Propileno Fluorado	2,08 -5,26	14 – 10	0,51	Ninguna	
					8,37-33,6	8 - 2	0,76	Ninguna	
		200	Lugares secos aplicaciones especiales ⁽²⁾	Etileno Propileno Fluorado	2,08-8,37	14 – 8	0,36	Malla de fibra de vidrio	
					13,3-33,6	6 – 2	0,36	Malla de material adecuado	
Aislamiento Mineral (con cubierta metálica)	MI	90 200	Lugares secos o húmedos Lugares secos Aplicaciones especiales ⁽²⁾	Oxido de magnesio	0,824-1,31 ⁽³⁾	18 –16 ⁽³⁾	0,58	Cobre o aleación de acero	
					1,31 - 5,26 6,63 - 21,2 26,7 - 253	16 – 10 9 – 4 3 – 500	0,91 1,27 1,40		
Termoplástico o resistente a la humedad, al calor, al aceite y a la propagación de la flama	MTW	60 90	Alambrado de máquinas herramienta en lugares mojados (véase Art. 670) Alambrado de máquinas herramienta en lugares secos (véase el Artículo 670)	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, al aceite y a la propagación de la flama	0,325 - 3,31 5,26 8,37 13,3 21,2 -33,6 42,4 -107 127 -253 304 -507	22 -12 10 8 6 4-2 1-4/0 250 -500 600 -1 000	(A) 0,76 0,76 1,14 1,52 1,52 2,03 2,41 2,79	(B) 0,38 0,51 0,76 0,76 1,02 1,27 1,52 1,78	(A) Ninguna (B) Cubierta de nylon o equivalente
Perfluoroalcoxi	PFAH	250	Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de artefactos o de canalizaciones conectadas a artefactos (sólo de níquel o de cobre recubierto de níquel)	Perfluoroalcoxi	2,08 – 5,26 8,37 – 33,6 42,4 - 107	14 – 10 8 – 2 1 – 4/0	0,51 0,76 1,14	Ninguno	
Polímero sintético o de cadena cruzada resistente al calor	RHH	90	Lugares secos o húmedos	Polímero sintético o de cadena cruzada resistente al calor y a la flama	2,08 -5,26 8,37 -33,6 42,4 -107 127 -253 304 -507 557-1010	14 -10 8 -2 1 - 4/0 250 -500 600 -1 000 1100-2000	1,14 1,52 2,03 2,41 2,79 3,18	Cubierta no metálica resistente a la humedad y a la propagación de la flama. (1)	
Polímero sintético o de cadena cruzada resistente al calor	RHW (5)	75	Lugares secos o mojados	Polímero sintético o de cadena cruzada resistente al calor, a la humedad y a la flama	2,08 -5,26 8,37 -33,6 42,4-107 127 -253 304 -507 557 -1010	14 -10 8 -2 1-4/0 250 -500 600-1 000 1100-2000	1,14 1,52 2,03 2,41 2,79 3,18	Cubierta no metálica resistente a la humedad y a la propagación de la flama. (1)	
Silicón-FV	SF	150	Lugares secos y húmedos	Hule Silicón	2,08 –5,26 8,37 –33,6 42,4 –107	14-10 8 –2 1 - 4/0	0,76 1,52 2,03	Malla de fibra de vidrio o material equivalente	
		200	En aplicaciones donde existan condiciones de alta temperatura ⁽²⁾						

Polímero sintético resistente al calor	SIS	90	Alambrado de tableros de distribución	Polímero sintético de cadena cruzada resistente al calor	2,08 –5,26 8,37	14 –10 8	0,76 1,14	Ninguna
Termoplástico para tableros	TT	75	Alambrado de tableros de distribución	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la propagación de incendio y de emisión reducida de humos y gas ácido	0,519 –3,31	20 -12	0,76	Ninguna
Politetra-fluoroetileno extendido	TFE	250	Sólo lugares secos. Sólo para cables dentro de artefactos o dentro de canalizaciones conectadas a artefactos, o como alambrado a la vista (sólo de níquel o cobre recubierto de níquel)	Politetra-fluoroetileno extruido	2,08 –5,26 8,37 –33,6 42,4 –107	14-10 8 –2 1- 4/0	0,51 0,76 1,14	Ninguno
Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	TW	60	Lugares secos y mojados	Termoplástico resistente a la humedad y a la propagación de incendio	2,08-5,26 8,37 13,3 –33,6	14 -10 8 6 -2	0,76 1,14 1,52	Ninguna
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendio	THW (5)	75 90	Lugares secos y mojados Para la alimentación de equipos de iluminación por descarga eléctrica véase Artículo 410-31	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendio	2,08 -5,26 8,37 13,3 -33,6 42,4 -107 127 -253 304 -507	14 -10 8 6 -2 1 - 4/0 250-500 600 -1 000	0,76 1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Ninguna
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido	THW – LS (4)	75 90	Lugares secos y mojados. Para la alimentación de equipos de iluminación por descarga eléctrica véase Artículo 410-31	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido.	2,08-5,26 8,37 13,3-33,6 42,4-107 127-253 304-507	14 -10 8 6 -2 1 - 4/0 250 -500 600 -1 000	0,76 1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Ninguna
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios	THHW	75	Lugares secos y mojados.	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios.	2,08-5,26 8,37 13,3 -33,6 42,4-107 127-253 304-507	14 -10 8 6 -2 1 - 4/0 250 -500 600 -1 000	0,76 1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Ninguna
		90	Lugares secos					
		Para la alimentación de equipos de iluminación por descarga eléctrica véase artículo 410-31						
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido	THHW – LS (4)	75	Lugares mojados.	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido	2,08 -5,26 8,37 13,3 -33,6 42,4 -107 127 -253 304 -507	14 -10 8 6 -2 1 - 4/0 250 -500 600 -1 000	0,76 1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Ninguna
		90	Lugares secos					
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente a	THWN	75	Lugares secos y mojados	Termoplástico con cubierta de nylon, resistente a la humedad, al	2,08 -3,31 5,26 8,37 -13,3 21,2 -33,6	14 -12 10 8 - 6 4 -2	0,38 0,51 0,76 1,02	Cubierta de nylon o equivalente

la humedad, al calor y a la propagación de la flama				calor y a la propagación de la flama	42,4 -107 127 -253 304 -507	1 - 4/0 250 -500 600 -1 000	1,27 1,52 1,78	
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama	THHN	90	Lugares secos	Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama	2,08 -3,31 5,26 8,37 -13,3 21,2 -33,6 42,4 -107 127 -253 304 -507	14 -12 10 8 - 6 4 -2 1 - 4/0 250 -500 600-1 000	0,38 0,51 0,76 1,02 1,27 1,52 1,78	Cubierta de nylon o equivalente
Cable plano para acometida aérea y sistemas fotovoltaicos	TWD-UV	60	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea. Véase el Artículo 338. Sistemas fotovoltaicos. Véase el Artículo 690.	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la intemperie y a la propagación de incendio.	3,31 -5,26 8,37 - 13,3	12 - 10 8- 6	1,20 1,58	Ninguna
Cable mono-conductor para acometida subterránea	BTC	90	Lugares secos y mojados Acometida subterránea. Véase el artículo 338	Polímero sintético, de cadena cruzada resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama	15-35		1,60	Ninguna
Cable mono-conductor y multiconductor para acometida subterránea	DRS	90	Lugares secos y mojados Entrada de acometida subterránea. Véase Art. 338	Polímero sintético, de cadena cruzada resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama	21,2 -33,6 53,5-107 177	4 - 2 1/0 - 4/0 350	1,58 1,98 2,39	Ninguna
Cable para acometida aérea	CCE	60	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea. Véase el artículo 338	Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama	3,31 -8,36 13,3-21,2	12 - 8 6 - 4	1,2 1,6	Termoplástico resistente a la humedad y a la intemperie
Cable para acometida aérea	BM-AL	75	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea. Véase Art. 338 o distribución aérea en baja tensión	Termo-plástico resistente a la humedad y a la intemperie	5,26 - 33,6	10 - 2	1,14	Ninguna
Cable para acometida subterránea un solo conductor	USE(5)	75	Ver artículo 338	Resistente al calor y la humedad	2,08 -5,26 8,37 -33,6 42,4 -107 108 - 253 279 - 507	14 - 10 8 - 2 1 - 4/0 213 - 500 550 - 1 000	1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Cubierta no metálica resistente a la humedad
Polímero sintético, de cadena cruzada resistente a la humedad y al calor	XHHW (4)(5)	90	Lugares secos y húmedos	Polímero sintético, de cadena cruzada resistente a la humedad, al calor y a la propagación de la flama.	2,08 -5,26 8,37 -33,6 42,4 -107 127 -253 304-507	14 -10 8-2 1 - 4/0 250 -500 600-1 000	0,76 1,14 1,4 1,65 2,03	Ninguna
		75	Lugares mojados					
Tetrafluoroetileno modificado con etileno	Z	90	Lugares secos y mojados	Tetrafluoroetileno modificado con etileno	2,08 - 3, 31 5,26 8,37 - 21,2 33,7 - 42,4 53, 5 - 107	14 - 12 10 8 - 4 2 -1 1/0 - 4/0	0,38 0,51 0,64 0,89 1,14	Ninguno
		150	Lugares secos, aplicaciones especiales ⁽²⁾					

TABLA 310-16.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW*, CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHW-2, XHHW*, XHHW-2, DRS
Cobre				Aluminio			
0,824	18	---	---	14	---	---	---
1,31	16	---	---	18	---	---	---
2,08	14	20*	20*	25*	---	---	---
3,31	12	25*	25*	30*	---	---	---
5,26	10	30	35*	40*	---	---	---
8,37	8	40	50	55	---	---	---
13,3	6	55	65	75	40	50	60
21,2	4	70	85	95	55	65	75
26,7	3	85	100	110	65	75	85
33,6	2	95	115	130	75	90	100
42,4	1	110	130	150	85	100	115
53,5	1/0	125	150	170	100	120	135
67,4	2/0	145	175	195	115	135	150
85,0	3/0	165	200	225	130	155	175
107	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	190	230	255
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	355	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	310	375	420
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	450
458	900	435	520	585	355	425	480
507	1 000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	520	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1010	2000	560	665	750	470	560	630
FACTORES DE CORRECCION							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes						
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	
56-60	****	0,58	0,71	****	0,58	0,71	
61-70	****	0,33	0,58	****	0,33	0,58	
71-80	****	****	0,41	****	****	0,41	

TABLA 310-17.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible para cables monoconductores aislados de 0 a 2 000 V nominales, al aire libre y a temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (ver tabla 310-13)					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW*	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS*, THWN*, XHHW*, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THW-LS*, THWN-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHH*, RHW-2, XHHW*, XHHW-2
Cobre				Aluminio			
0,824	18	....	---	18	....	....	....
1,31	16	....	---	24	....	....	....
2,08	14	25*	30*	35*	....	....	....
3,31	12	30*	35*	40*	---	---	---
5,26	10	40	50*	55*	---	---	---
8,37	8	60	70	80	---	---	---
13,3	6	80	95	105	60	75	80
21,2	4	105	125	140	80	100	110
26,7	3	120	145	165	95	115	130
33,6	2	140	170	190	110	135	150
42,4	1	165	195	220	130	155	175
53,5	1/0	195	230	260	150	180	205
67,4	2/0	225	265	300	175	210	235
85,0	3/0	260	310	350	200	240	275
107	4/0	300	360	405	235	280	315
127	250	340	405	455	265	315	355
152	300	375	445	505	290	350	395
177	350	420	505	570	330	395	445
203	400	455	545	615	355	425	480
253	500	515	620	700	405	485	545
304	600	575	690	780	455	540	615
355	700	630	755	855	500	595	675
380	750	655	785	885	515	620	700
405	800	680	815	920	535	645	725
456	900	730	870	985	580	700	785
507	1 000	780	935	1 055	625	750	845
633	1 250	890	1 065	1 200	710	855	960
760	1 500	980	1 175	1 325	795	950	1 075
887	1 750	1 070	1 280	1 445	875	1 050	1 185
1 010	2 000	1 155	1 385	1 560	960	1 150	1 335
FACTORES DE CORRECCION							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes.						
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	
56-60	****	0,58	0,71	****	0,58	0,71	
61-70	****	0,33	0,58	****	0,33	0,58	
71-80	****	****	0,41	****	****	0,41	

TABLA 310-18.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores aislados individuales de 0 a 2 000 V, de 150°C a 250°C, en canalizaciones o cable, para una temperatura ambiente de 40°C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor. Véase tabla 310-13			
mm ²	AWG o kcmil	150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		TIPOS Z, SF	TIPOS FEP, FEPB, SF	TIPOS PFAH, TFE	TIPO Z
		Cobre		Níquel o níquel recubierto de cobre	Aluminio
2,08	14	34	36	39	----
3,31	12	43	45	54	---
5,26	10	55	60	73	---
8,37	8	76	83	93	---
13,3	6	96	110	117	75
21,2	4	120	125	148	94
26,7	3	143	152	166	109
33,6	2	160	171	191	124
42,4	1	186	197	215	145
53,5	1/0	215	229	244	169
67,4	2/0	251	260	273	198
85,0	3/0	288	297	308	227
107	4/0	332	346	361	260
FACTORES DE CORRECCION					
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes.				
41-50	0,95	0,97	0,98	0,95	0,95
51-60	0,90	0,94	0,95	0,90	0,90
61-70	0,85	0,90	0,93	0,85	0,85
71-80	0,80	0,87	0,90	0,80	0,80
81-90	0,74	0,83	0,87	0,74	0,74
91-100	0,67	0,79	0,85	0,67	0,67
101-120	0,52	0,71	0,79	0,52	0,52
121-140	0,30	0,61	0,72	0,30	0,30
141-160	----	0,50	0,65	----	----
161-180	----	0,35	0,58	----	----
181-200	----	----	0,49	----	----
201-225	----	----	0,35	----	----

TABLA 310-19.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible para cables monoconductores aislados de 0 a 2000 V, de 150°C a 250°C, al aire libre, para una temperatura ambiente de 40 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor. Véase tabla 310-13			
mm ²	AWG o kcmil	150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		TIPOS Z, SF	TIPOS FEP, FEPB, SF	TIPOS PFAH, TFE	TIPO Z
		Cobre		Níquel o cobre recubierto de níquel	Aluminio
2,08	14	46	54	59	----
3,31	12	60	68	78	---
5,26	10	80	90	107	---
8,37	8	106	124	142	---
13,3	6	155	165	205	112
21,2	4	190	220	278	148
26,7	3	214	252	327	170
33,6	2	255	293	381	198
42,4	1	293	344	440	228
53,5	1/0	339	399	532	263
67,4	2/0	390	467	591	305
85,0	3/0	451	546	708	351
107	4/0	529	629	830	411
FACTORES DE CORRECCION					
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplicar las anteriores capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes				
41-50	0,95	0,97	0,98	0,95	0,95
51-60	0,90	0,94	0,95	0,90	0,90
61-70	0,85	0,90	0,93	0,85	0,85
71-80	0,80	0,87	0,90	0,80	0,80
81-90	0,74	0,83	0,87	0,74	0,74
91-100	0,67	0,79	0,85	0,67	0,67
101-120	0,52	0,71	0,79	0,52	0,52
121-140	0,30	0,61	0,72	0,30	0,30
141-160	----	0,50	0,65	----	----
161-180	----	0,35	0,58	----	----
181-200	----	----	0,49	----	----
201-225	----	----	0,35	----	----

TABLA 430-148.- Corriente eléctrica a plena carga, en amperes (A) de motores monofásicos de corriente alterna (c.a.)

kW	CP	115 V	127 V	208 V	230 V
0,12	1/6	4,4	4,0	2,4	2,2
0,19	1/4	5,8	5,3	3,2	2,9
0,25	1/3	7,2	6,5	4	3,6
0,37	1/2	9,8	8,9	5,4	4,9
0,56	3/4	13,8	11,5	7,6	6,9
0,75	1	16	14,0	8,8	8
1,12	1-½	20	18,0	11	10
1,50	2	24	22,0	13,2	12
2,25	3	34	31,0	18,7	17
3,75	5	56	51,0	30,8	28
5,60	7-½	80	72,0	44	40
7,50	10	100	91,0	55	50

Tabla 430-149.- Corriente a plena carga, en amperes (A), de motores a dos fases de corriente alterna (c.a.) (cuatro hilos)

KW	CP	MOTORES DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA Y ROTOR DEVANADO, EN AMPERE (A)				
		115 V	230 V	460 V	575 V	2 300 V
0,37	½	4	2	1	0,8	---
		4.8	2.4	1.2	1.0	---
		6.4	3.2	1.6	1.3	---
1,12	1 ½	9	4,5	2,3	1,8	---
		11.8	5.9	3	2.4	---
			8.3	4.2	3.3	---
3,75	5	---	13,2	6,6	5,3	---
		---	19	9	8	---
		---	24	12	10	---
11,2	15	---	36	18	14	---
		---	47	23	19	---
		---	59	29	24	---
22,4	30	---	69	35	28	---
		---	90	45	36	---
		---	113	56	45	---
44,8	60	---	133	67	53	14
		---	166	83	66	18
		---	218	109	87	23
93,0	125	---	270	135	108	28
		---	312	156	125	32
		---	416	208	167	43

Tabla 430-150.- Corriente eléctrica a plena carga de motores trifásicos de c.a.

KW	CP	Motor de inducción Jaula de ardilla y rotor devanado, en amperes (A)							Motor síncrono, con factor de potencia unitario, en amperes (A)				
		V											
		115	200	208	230	460	575	2 300	230	460	575	2 300	
0,37	1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9						
0,56	3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3						
0,75	1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7						
1,12	1-½	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4						
1,50	2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7						
2,25	3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9						
3,75	5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1						
5,60	7-½		25,3	24,2	22	11	9						
7,46	10		32,2	30,8	28	14	11						
11,2	15		48,3	46,2	42	21	17						
14,9	20		62,1	59,4	54	27	22		53	26	21		
18,7	25		78,2	74,8	68	34	27						
22,4	30		92	88	80	40	32		63	32	26		
29,8	40		120	114	104	52	41		83	41	33		
37,3	50		150	143	130	65	52		104	52	42		
44,8	60		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12	
56,0	75		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15	
75,0	100		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20	
93,0	125		359	343	312	156	125	31	253	126	101	25	
111,9	150		414	396	360	180	144	37	302	151	121	30	
149	200		552	528	480	240	192	49	400	201	161	40	
187	250					302	242	60					
224	300					361	289	72					
261	350					414	336	83					
298	400					477	382	95					

336	450					515	412	103				
373	500					590	472	118				

Para factor de potencia de 90% y 80%, las cantidades anteriores deben multiplicarse por 1,1 y 1,25, respectivamente.

Tabla 430-151 A.- Conversión de corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado para motores monofásicos para la selección de controladores y medios de desconexión de acuerdo con la tensión eléctrica nominal y potencia nominal en kW

(Para ser utilizada solamente con las Secciones 430-110, 440-12, 440-41 y 455-8(c))

kW	CP	Corriente máxima a rotor bloqueado (1 fase)		
		A		
		115 V	208 V	230 V
0,37	1/2	58,8	32,5	29,4
0,56	3/4	82,8	45,8	41,4
0,75	1	96	53	48
1,12	1-½	120	66	60
1,50	2	144	80	72
2,25	3	204	113	102
3,75	5	336	186	168
5,60	7-½	480	265	240
7,50	10	600	332	300

Tabla 430-151 B. Conversión de corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado para motores polifásicos, diseños B, C, D y E para la selección de controladores y medios de desconexión de acuerdo con la tensión eléctrica nominal y potencia nominal en kW.

(Para ser utilizada solamente con las secciones 430-110, 440-12, 440-41, y 455-8(c))

kW	CP	Corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado (2 y 3 fases y diseños B, C, D y E)											
		115 V		200 V		208 V		230 V		460 V		575 V	
		B, C, D	E	B, C, D	E	B, C, D	E	B, C, D	E	B, C, D	E	B, C, D	E
0,37	1/2	40	40	23	23	22,1	22,1	20	20	10	10	8	8
0,56	3/4	50	50	28,8	28,8	27,6	27,6	25	25	12,5	12,5	10	10
0,75	1	60	60	34,5	34,5	33	33	30	30	15	15	12	12
1,12	1-½	80	80	46	46	44	44	40	40	20	20	16	16
1,50	2	100	100	57,5	57,5	55	55	50	50	25	25	20	20
2,25	3			73,6	84	71	81	64	73	32	36,6	25,6	29,2
3,75	5			105,8	140	102	135	92	122	46	61	36,8	48,8
5,60	7-½			146	210	140	202	127	183	63,5	91,5	50,8	73,2
7,50	10			186,3	259	179	249	162	225	81	113	64,8	90
11,2	15			267	388	257	373	232	337	116	169	93	135
14,92	20			334	516	321	497	290	449	145	225	116	180
18,65	25			420	646	404	621	365	562	183	281	146	225
22,4	30			500	775	481	745	435	674	218	337	174	270
29,84	40			667	948	641	911	580	824	290	412	232	330
37,3	50			834	1 185	802	1 139	725	1 030	363	515	290	412
44,8	60			1 001	1 421	962	1 367	870	1 236	435	618	348	494
55,95	75			1 248	1 777	1 200	1 708	1 085	1 545	543	773	434	618
74,60	100			1 668	2 154	1 603	2 071	1 450	1 873	725	937	580	749
93,0	120			2 087	2 692	2 007	2 589	1 815	2 341	908	1 171	726	936
119,9	150			2 496	3 230	2 400	3 106	2 170	2 809	1 085	1 405	868	1 124
150	200			3 335	4 307	3 207	4 141	2 900	3 745	1 450	1 873	1 160	1 498
187	250									1 825	2 344	1 460	1 875
224	300									2 200	2 809	1 760	2 247

261	350								2 550	3 277	2 040	2 622
298	400								2 900	3 745	2 320	2 996
336	450								3 250	4 214	2 600	3 371
373	500								3 625	4 682	2 900	3 746

Tabla 430-152.- Valor nominal máximo o ajuste para el dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra del circuito derivado del motor

Por ciento de la corriente eléctrica a plena carga				
Tipo de motor	Fusible sin retardo de tiempo**	Fusible de dos elementos** (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso*
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores de CA, polifásicos, que no sean de rotor devanado.				
Jaula de ardilla	300	175	800	250
Otros que no sean diseño E	300	175	1 100	250
Diseño E				
Motores síncronos +	300	175	800	250
Rotor devanado	150	150	800	250
c.c. (tensión eléctrica constante)	150	150	250	150

Para ciertas excepciones a los valores especificados, véase 430-52 hasta 430-54.

* Los valores dados en la última columna comprenden también las capacidades de los tipos no ajustables de tiempo inverso, los cuales pueden modificarse como se indica en 430-52.

** Los valores en la columna para fusible sin retardo de tiempo aplican para fusibles Clase CC con retardo de tiempo.

+ Los motores síncronos de bajo par de arranque y baja velocidad (comúnmente 450 RPM o menos), como son los empleados para accionar compresores recíprocos, bombas, etc., que arrancan en vacío, no requieren una capacidad de fusible o un ajuste mayor que 200% de la corriente eléctrica a plena carga.

TABLA 10-4. Dimensiones de tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado y ligero y área disponible para los conductores (basado en la Tabla 10-1, Capítulo 10)

Designación	Diámetro interior mm	Área interior total mm ²	Área disponible para conductores mm ²		
			Uno conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de dos conductores fr = 40%
16 (1/2)	15,8	196	103	60	78
21 (3/4)	20,9	344	181	106	137
27 (1)	26,6	557	294	172	222
35 (1-1/4)	35,1	965	513	299	387
41 (1-1/2)	40,9	1313	697	407	526
53 (2)	52,5	2165	1149	671	867
63 (2-1/2)	62,7	3089	1638	956	1236
78 (3)	77,9	4761	2523	1476	1904
91 (3-1/2)	90,1	6379	3385	1977	2555
103 (4)	102,3	8213	4349	2456	3282
129 (5)	128,2	12907	6440	4001	5163
155 (6)	154,1	18639	9879	5778	7456

APÉNDICE C. Relación de Normas, Leyes y/o Reglamentos aplicables a la Instalación Eléctrica entre otros.

NOM-001-SEDE-2005	Instalaciones Eléctricas ‘Utilización’
NOM-007-ENER-2004	Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en Edificios No Residenciales
NOM-013-ENER-2004	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en Vialidades y Áreas Exteriores Públicas.
NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida.
NOM-022-STPS-1999	Electricidad Estática en los centros de trabajo-Condicionde Seguridad e Higiene.
NOM-025-STPS-1999	Relativa a los niveles y condiciones de Iluminación que deben tener los centros de trabajo.
NOM-029-STPS-2005	Mantenimiento de las Instalaciones Eléctricas en los centros de trabajo-Condicionde Seguridad.
NMX-J-136-2007	Abreviaturas y Símbolos para Diagramas, Planos y Equipos Eléctricos.
PEC NOM-001-SEDE-2005	Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de la NOM-001-SEDE-2005
PEC NOM-007-ENER-2004	Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de la NOM-007-ener-2004
PEC NOM-013-ENER-2005	Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de la NOM-013-ENER-2004
	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
	Ley Federal sobre Metrología y Normalización
	Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
	Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
	Acuerdo que determina los lugares de concentración pública para la Verificación de las Instalaciones Eléctricas.
NRF-011-CFE	Sistema de Tierra para Plantas y Subestaciones Eléctricas.

APÉNDICE D. Grados de Protección de Envolventes para Equipo Eléctrico.

Los envolventes deben proporcionar un grado de protección, por un lado del equipo que contienen ante las condiciones ambientales, y, por otro, del personal contra el contacto accidental con el mismo. Los tipos específicos de envolventes, sus aplicaciones, las condiciones ambientales adicionales de protección para las que están diseñadas son las siguientes.

- Tipo 1: Uso interior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad.

- Tipo 2: Uso interior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad y contra el goteo y las salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos.

- Tipo 3: Uso interior o exterior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, polvadera y formaciones externas de hielo.

- Tipo 3R: Uso interior o exterior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve y formaciones externas de hielo.

- Tipo 3S: Uso interior o exterior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, polvadera. El mecanismo externo debe seguir operable cuando se forman capas de hielo.

- Tipo 4: Uso interior o exterior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, polvadera, salpicaduras de agua, chorro directo de agua y que no se dañará por la formación de hielo en el exterior.

- Tipo 4X: Uso interior o exterior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, polvadera, salpicaduras de agua, chorro directo de agua, corrosión y que no se dañará por la formación de hielo en el exterior.

- Tipo 5: Uso interior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, acumulación de polvo en el ambiente, pelusa, fibras y partículas flotantes y contra el goteo y salpicaduras de líquidos no corrosivos.

- Tipo 6: Uso interior o exterior; protección de personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, chorro directo de agua y la entrada de agua durante la inmersión temporal ocasional a una profundidad limitada y que no se dañará por la formación del hielo en el exterior.

- Tipo 6P: Uso interior o exterior; protección de personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, lluvia, agua nieve, nieve, chorro directo de agua, corrosión y la entrada de agua durante la inmersión prolongada a una profundidad limitada y que no se dañará por la formación del hielo en el exterior.

- Tipo 12: Uso interior; sin pre-troquelados; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, acumulación de polvo ambiente, pelusa, fibras y partículas flotantes y contra el goteo y salpicaduras de líquidos no corrosivo, así como contra salpicaduras ligeras y escurrimiento de aceite y refrigerantes no corrosivos.

- Tipo 12K: Uso interior; sin pre-troquelados; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, acumulación de polvo ambiente, pelusa, fibras y partículas flotantes y contra el goteo y salpicaduras de líquidos no corrosivo, así como contra salpicaduras ligeras y escurrimiento de aceite y refrigerantes no corrosivos.

- Tipo 13: Uso interior; protección del personal contra el contacto accidental con el equipo y protección del mismo contra la suciedad, acumulación de polvo ambiente, pelusa, fibras y partículas flotantes y contra rociado salpicaduras y escurrimientos de agua, aceite y refrigerantes no corrosivos.

