



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL
SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE
OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:

CESAR AUGUSTO CALDERON RODRIGUEZ



FES Aragón

ASESOR:
ING. ABEL VERDE CRUZ

MÉXICO 2016

NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTO

Este agradecimiento es para todos aquellos que están y ya no están conmigo. Principalmente quiero agradecer a mis padres, los cuales siempre han confiado en mí y me han enseñado como guiar mi vida. Gracias a sus regaños, consejos y a sus sacrificios he podido llegar hasta donde me encuentro el día de hoy.

Después quiero agradecerle a mis hermanos, ya que ellos han sido el ejemplo tanto de las cosas buenas que he aprendido y de las cosas malas que no me gustaría hacer, pero a pesar de las cosas buenas o malas entre nosotros, siempre han estado apoyándome incondicionalmente.

Un agradecimiento especial a mi hermano Oscar, aunque ya no te encuentres con nosotros, fuiste tú quien fue la primera persona que confió en mí para ingresar a la carrera universitaria, siempre fuiste el más grande apoyo para nuestra madre y para mí, por eso te estoy más que agradecido.

A mis amigos, ya que ellos son una parte fundamental de mi manera de ser, muchos son gente que conozco desde que era un niño, otros han llegado al paso del tiempo, pero todos y cada uno he obtenido un gran aprendizaje.

A mis profesores, que fueron los que me enseñaron los fundamentos y a querer esta carrera, me tuvieron mucha paciencia y por eso estoy muy agradecido.

Por ultimo a la vida, que gracias a las lecciones que me ha dado hasta hoy he podido llevar mi vida con honradez, sé que las lecciones terminaran hasta el último de mis días, pero podre superarlas.

El día de hoy termina mi tiempo como estudiante de Licenciatura, el tiempo que duro fue duro y extenuante, pero valió la pena cada minuto que pase en esta mi casa FES ARAGON, ahora que tengo que aplicar los conocimientos que aquí he aprendido, espero hacerlo de la manera más adecuada y mejorar cada día.

Es un gran honor pertenecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, espero no deshonor los valores de la institución.

ÍNDICE

OBJETIVO	6
INTRODUCCION	7
1 Conceptos generales.	8
1.1 Corrientes Activas y Reactiva	8
1.2 Potencia eléctrica y Factor de potencia	9
1.2.1 Potencia eléctrica	9
1.2.2 Factor de Potencia	9
1.3 Esquemas de distribución de la energía eléctrica	10
1.3.1 Esquema de distribución TT	10
1.3.2 Esquema de distribución TN	11
1.3.2.1 Diferencias entre los esquemas TN-S, TN-C y TN-C-S	12
1.3.3 Esquema de distribución IT	12
1.4 Revisión de normas	13
1.4.1 Normas de CFE (distribución)	14
1.4.2 Norma Oficial Mexicana (NOM)	14
1.4.3 Norma UNE	14
2 Métodos de cálculo de alumbrado.	16
2.1 Magnitudes luminosas y sus unidades.	16
2.1.1 Flujo luminoso.	16
2.1.2 Intensidad luminosa.	17
2.1.3 Iluminación.	17
2.1.4 Emitancia	17
2.1.5 Luminancia	18
2.2 Leyes de las fuentes de luces puntuales y no puntuales.	18
2.2.1 Ley del cuadrado de distancia.	18
2.2.2 Intensidad luminosa no perpendicular al plano.	19
2.2.3 Grado de apertura del haz luminoso	20
2.3 Clases de iluminación.	20
2.3.1 Iluminación de interiores	21
2.3.2 Relación entre reflexión, absorción y transmisión luminosas	22
2.4 Diseño de un área de trabajo con luz artificial.	24
2.4.1 Distribución del alumbrado en función al tipo de luminaria.	24
2.4.2 Características luminosas respecto al área a iluminar.	25
2.4.3 Características de un correcto alumbrado artificial.	26
2.4.4 Encendido automático de lámparas	27

2.5	Calculo de número de luminarias en un local	28
2.6	Diseño de iluminación para un edificio de oficinas.	29
3	Calculo de conductores, tuberías y elevadores del edificio.	36
3.1	Conductores	36
3.1.1	Sección mínima del conductor neutro.	36
3.1.2	Identificación del conductor neutro.	36
3.1.3	Continuidad del conductor neutro.	36
3.2	Conductores eléctricos con carácter general	36
3.2.1	Conductores de protección	37
3.2.2	Caídas de tensión en las instalaciones de distribución	37
3.2.3	Calculo de conductores, su resistencia y caída de tensión.	38
3.3	Conductos porta-cables.	39
3.3.1	Tubos protectores.	39
3.3.2	Características de los tubos protectores.	40
3.3.3	Instalaciones bajo tubo	40
3.4	Tipos de tubería y usos.	43
3.4.1	Conduit rígido.	44
3.4.2	Conduit intermedio.	44
3.4.3	Tubería eléctrica metálica (TEM).	44
3.4.4	Conduit flexible.	44
3.4.6	Accesorios conduit flexible	46
3.4.7	Accesorios TEM	46
3.5	Sistemas secundarios.	46
3.5.1	Sistemas de detección de incendios.	46
3.5.1.1	Tipos de detectores.	46
3.5.1.2	Instalación de la detección de incendios	47
3.5.2	Ascensores	48
3.5.2.1	Tipos de ascensores	48
3.5.2.2	Calculo de ascensores destinados a edificios de oficinas, hoteles y hospitales	49
3.5.2.3	Determinación de la carga nominal	49
3.5.2.4	Accionamiento de ascensores	51
3.5.2.5	Consumo de potencia.	52
3.5.2.6	Mando de los ascensores.	53
3.5.3	Sistema de Aire Acondicionado	53
3.5.3.1	Instalaciones de aire acondicionado	53
3.5.3.2	Calculo del tamaño del aire acondicionado	55
3.6	Calculo de los sistemas secundarios para nuestro edificio.	55
3.6.1	Calculo de la potencia del sistema de fuerza e iluminación del edificio a usuarios.	55
3.6.2	Calculo de los conductores del tablero principal a los de distribución de los sistemas de fuerza e iluminación.	57

3.6.4	Calculo de la potencia de los elevadores y del calibre de cables a utilizar _____	58
3.6.5	Calculo de la potencia de los aires acondicionados y del calibre del cable a utilizar. _____	59
4	<i>Tableros e interruptores para el edificio.</i> _____	60
4.1	Tableros _____	60
4.1.1	Tablero general _____	60
4.1.2	Tableros de distribución _____	60
4.2	Interruptores _____	60
4.2.1	Interruptor general _____	61
4.2.2	Interruptor derivado _____	61
4.2.3	Interruptor termo-magnético _____	62
4.3	Corriente de corto-circuito _____	62
4.3.1	Corriente máxima de corto-circuito _____	62
4.3.2	Fenómenos transitorios _____	63
4.3.3	Factor de potencia ($\cos \theta$) del circuito en corto-circuito _____	64
4.3.4	Clases de corto-circuito _____	64
4.3.4.1	Corto-circuito tripolar alejado del generador, con alimentación sencilla _____	64
4.3.4.2	Corto-circuito bipolar, distante al generador, con alimentación sencilla. _____	64
4.3.4.3	Corto-circuito unipolar a tierra, distante del generador, con alimentación sencilla _____	65
4.3.5	Efectos de la corriente de corto-circuito _____	66
4.3.5.1	Esfuerzos dinámicos _____	66
4.4	Calculo de interruptores y de corto-circuito _____	67
5	<i>Diseño de la Subestación del edificio.</i> _____	69
5.1	Generalidades _____	69
5.1.1	Requerimientos del diseño _____	70
5.2	Criterios de diseño _____	73
5.2.1	Seguridad _____	73
5.2.2	Confiabilidad _____	74
5.2.3	Simplicidad de operación. _____	75
5.2.4	Calidad de voltaje. _____	75
5.2.5	Flexibilidad _____	76
5.2.6	Costo _____	76
5.2.7	Requerimiento de diseño _____	76
5.3	Aspectos de diseño _____	77
5.3.1	Selección del nivel de tensión _____	77
5.3.2	Conocimiento del nivel de corto-circuito _____	78
5.3.3	Forma de aislar fallas a tierra _____	78
5.3.4	Liberación rápida de fallas _____	79
5.3.5	Operación selectiva de la protección. _____	79
5.3.6	Prevención de la operación con fallas monofásicas. _____	79

5.3.7 Diagrama unifilar.	80
5.4 Sub-estaciones eléctricas.	83
5.4.1 Sub-estación elevadora.	84
5.4.2 Sub-estación Reductora	84
5.4.3 Sub-estación de enlace	84
5.4.4 Sub-estación en anillo	85
5.4.5 Sub-estación de switcheo	85
5.4.6 Sub-estación Radial	85
5.5 Arreglo de Barras en sub-estaciones	86
5.5.1 Barra simple o sencilla	87
5.5.2 Arreglo de barra Radial.	87
5.5.3 Arreglo de barra en anillo	88
5.5.4 Arreglo de barra en transferencia	88
5.5.5 Arreglo de interruptor y medio	89
5.6 Tecnología de las sub-estaciones eléctricas	90
5.6.1 Sub-estaciones aisladas en aire	90
5.6.1.1 Sub-estaciones tipo intemperie	91
5.6.1.2 Sub-estaciones tipo interior	91
5.6.2 Sub-estación aislada en Hexafloruro de Azufre	91
5.6.3 Sub-estaciones compactas	91
5.7 Métodos de cálculo para sub-estaciones	93
5.7.1 Sistema por unidad	93
5.7.2 Calculo de cortocircuito	95
5.7.2.1 Tipos de fallas a estudiar	96
5.7.3 Método de las componentes simétricas	96
5.7.3.1 Falla línea a tierra	97
5.7.3.1.1 Diagrama de impedancias de secuencia positiva	98
5.7.3.1.2 Diagrama de impedancias de secuencia negativa	99
5.7.3.1.3 Diagrama de impedancias de secuencia cero	100
5.7.3.2 Calculo de la corriente de cortocircuito	103
5.7.4 Método del bus infinito para cálculo de cortocircuito	105
5.7.5 Método de los MVA para cálculo de cortocircuito	107
5.7.5.1 Falla de línea a tierra por el método de los MVA	110
5.8 Dispositivos de protección contra fallas.	111
5.8.1 Características de los relevadores	112
5.8.1.1 Relevador de corriente	113
5.8.1.2 Relevador de voltaje	113
5.8.1.3 Relevador de cociente	113
5.8.1.4 Relevador de frecuencia	113
5.8.1.5 Relevador de producto	114
5.9 Calculo de la sub-estación, protecciones y corto-circuito.	114

5.9.1	Calculo de la capacidad del transformador	114
6	<i>Diseño del sistema de tierras del edificio.</i>	118
6.1	Objetivos del sistema de puesta a tierra	118
6.2	Puesta a tierra de los sistemas de potencia	119
6.3	Parámetros eléctricos del suelo.	122
6.3.1	Resistividad del suelo	123
6.3.1.1	Tipo de suelo	123
6.3.1.2	Humedad y salinidad del suelo	125
6.3.1.3	La compactación del suelo	125
6.3.1.4	Temperatura del suelo	125
6.3.2	Permitividad eléctrica o constante dieléctrica (ϵ)	126
6.3.3	Permeabilidad magnética (μ)	126
6.3.4	Parámetros eléctricos en función de la frecuencia	126
6.4	Electrodos	126
6.4.1	Influencia recíproca	127
6.4.2	Voltajes que pueden incidir en el ser humano	128
6.4.3	Clasificación de las redes de tierra.	129
6.4.4	Dimensionamiento de la red de tierra	130
6.4.5	El método de Werner	133
6.4.6	Diseño de un sistema de tierras	134
6.4.6.1	Secuencia del cálculo de redes de Tierra.	137
6.4.7	Calculo del sistema de tierras del edificio	138
	CONCLUSIONES	142
	BIBLIOGRAFIA	143

Anexo

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el diseño de los sistemas eléctricos de un edificio de uso administrativo, que sea seguro y se mantenga en condiciones seguras ante la presencia de una falla eléctrica.

Ya que todas las actividades que se realicen dentro del inmueble dependen directamente del sistema eléctrico, se busca que el diseño sea lo más eficiente posible.

Además de mostrar a las personas que lo consulten las formulas necesarias y procesos para realizar algún proyecto eléctrico básico.

Pero el objetivo principal que se busca es emplear gran parte de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y el empleo correcto de las normas que rigen nuestro país.

INTRODUCCION

La energía eléctrica es el pilar principal para el mundo actual, ya que sin ella gran parte de la vida actual no sería posible. En el ámbito empresarial, los procesos administrativos, industriales, comunicaciones con clientes, movimientos bancarios, etc., dependen de una forma directa de la energía eléctrica.

En el ámbito urbano sucede lo mismo, ya que la iluminación juega un gran papel para el tránsito nocturno, para que los peatones puedan circular de una forma segura de día como de noche.

La energía eléctrica se obtiene en una central generadora, la cual puede funcionar por distintos métodos (agua, gas, viento, elementos nucleares, energía solar, etc.) pero sin importar el método con el cual se genere la electricidad, estos tipos de centrales tienen un objetivo que es llevar energía eléctrica a los usuarios en zonas urbanas y rurales.

La energía pasa por diversos procesos de elevación y de disminución, los cuales son llamados transmisión y sub-transmisión, antes de llegar al sistema de distribución que se localiza dentro de las ciudades o localidades donde vivan personas.

Los lugares que hacen uso del servicio eléctrico deben de contar con instalaciones seguras para los equipos que se utilicen y para las personas que realicen alguna actividad en estos lugares, esta seguridad debe estar garantizada por parte de la instalación eléctrica y debe de tener una buena respuesta ante cualquier falla. Para esto existen distintos dispositivos que nos permiten liberar fallas y mantener nuestra instalación eléctrica segura, una parte importante para garantizar la seguridad es el buen dimensionamiento del sistema de tierras y del sistema de protección que se emplee.

Este trabajo está realizado con los principios matemáticos adecuados y bajo las normativas que rigen nuestro país, se pretende calcular todos y cada uno de los sistemas básicos que debe llevar un edificio para su buen funcionamiento.

1 Conceptos generales.

1.1 Corrientes Activas y Reactiva

En las redes eléctricas de corriente alterna se pueden distinguir 2 tipos fundamentales de cargas: cargas óhmicas o resistivas y cargas reactivas. Las cargas óhmicas toman corrientes que se encuentran en fase con la tensión aplicada a las mismas; debido a esta circunstancia, la energía eléctrica que consumen se transforma por completo en trabajo mecánico, en calor o en cualquier otra forma de energía no retornable directamente a la red. Estas corrientes se conocen como corrientes activas.

Las cargas reactivas ideales toman corrientes que se encuentran desfasadas hasta 90° respecto a la tensión aplicada y, por consiguiente, la energía eléctrica que les llega no se consume en ellas, sino que se almacena en forma de campo eléctrico o magnético, durante un corto lapso (un cuarto de ciclo), y regresa a la red en un tiempo idéntico al que tardó en almacenarse. Este proceso se repite de forma periódica, siguiendo las oscilaciones de la tensión aplicada a la carga. Las corrientes de este tipo se conocen como corrientes reactivas.

Una carga real siempre puede considerarse como compuesta por una parte puramente resistiva, dispuesta en paralelo con otra parte reactiva ideal. En cargas eminentemente resistivas, como lámparas incandescentes y aparatos de calefacción, la parte de la carga reactiva puede considerarse prácticamente nula, en especial a las bajas frecuencias que son normales en las redes eléctricas industriales (50 o 60 Hz); por consiguiente, las corrientes que toman son corrientes activas. Sin embargo, en las cargas representadas por líneas de transmisión y distribución, transformadores, lámparas fluorescentes, motores de inducción, equipos de soldadura eléctrica, hornos de inducción, bobinas de reactancia, etc., se puede considerar que la corriente que toman está formada por 2 componentes; uno, la corriente activa y dos, la llamada `corriente magnetizante', o corriente reactiva, que es la que debe alimentar los circuitos magnéticos de los aparatos eléctricos y está atrasada hasta 90° con respecto a la tensión.

Esta corriente reactiva, si bien es indispensable, principalmente para energizar los circuitos magnéticos de los equipos mencionados, representa una carga adicional de corriente para los circuitos de transmisión, las plantas generadoras, los transformadores de potencia, las líneas eléctricas de distribución e incluso los circuitos internos de las plantas industriales.

En el caso particular de las redes de distribución, la corriente reactiva necesaria para energizar los circuitos magnéticos de los transformadores es de carácter inductivo; es decir, está desfasada hasta 90° en atraso respecto a la tensión.

En un sistema eléctrico, compuesto por un sistema de generación, uno de transmisión y otro de distribución, la carga que alimentan los generadores está compuesta por una parte resistiva y otra reactiva. La parte resistiva demanda una corriente I_r (corriente activa) y la reactiva una corriente I_l (corriente inductiva). La corriente total, que es la suma de las 2, se designa con el sub-índice 'A'.

1.2 Potencia eléctrica y Factor de potencia

1.2.1 Potencia eléctrica

En un circuito de corriente alterna, la tensión es una variable que es función del tiempo. La corriente también es una variable que está en función del tiempo y depende del valor de la carga. En cada instante, el producto de la tensión por la corriente se llama potencia instantánea y está dada por la siguiente expresión:

$$P(t) = v(t) i(t)$$

Que permite conocer el valor instantáneo de la potencia que demanda la carga de un circuito de corriente alterna, sin embargo, en la práctica se trabaja con valores eficaces de tensión, corriente y potencia. A la potencia demandada por la componente resistiva de un circuito de corriente alterna se le conoce como potencia activa, a la demanda por la componente reactiva, como potencia reactiva, y a la suma vectorial de ambas, como potencia aparente.

La potencia activa, reactiva y aparente de un circuito de corriente alterna se calculan por medio de las siguientes expresiones:

$$P = VI \cos \theta = RI^2 = V^2/R \text{ en watts}$$

$$Q = VI \sin \theta = XI^2 = V^2/X \text{ en vars}$$

$$S = VI = ZI^2 = V^2/Z \text{ en VA}$$

1.2.2 Factor de Potencia

El factor de potencia se define como la relación de la potencia activa con la potencia aparente. En la práctica, suele multiplicarse por cien el $\cos \theta$, y el factor de potencia queda expresado en tanto por ciento.

El factor de potencia (f.p.) está dado por:

$$\text{f.p.} = \cos\theta = R/Z = P/S$$

Un factor de potencia bajo en una instalación implica un consumo alto de corrientes reactivas y, por lo tanto, el riesgo de incurrir en pérdidas excesivas y sobrecargas en los equipos eléctricos y en las líneas de transmisión y distribución. Desde el punto de vista económico, esto puede traducirse en la necesidad de cables de transporte de energía de mayor calibre y por consiguiente más caros, e incluso en la necesidad de invertir en nuevos equipos de generación y transformación si la potencia demandada llega a sobrepasar la capacidad de los equipos existentes.

Por eso las compañías eléctricas de distribución tienen una cláusula en su estructura de tarifas, que reconoce un cargo por el f.p. bajo, además, de los cargos usuales por la utilización y demanda máxima de energía. Un valor típico mínimo de f.p. en muchas compañías es de 0.85. La relación del f.p. especificado con el f.p. medido es un factor utilizado para modificar la demanda medida en KW. de la carga, a fin de obtener la demanda de facturación; esto se representa por la siguiente expresión:

Un factor de potencia medido menor que el especificado ocasiona un incremento en la demanda de facturación, y un factor de potencia medido mayor que el especificado resulta en una reducción de la demanda de facturación. Normalmente el f.p. que permite una reducción en la demanda de facturación es de 0.95 o 1.0. No se concede ninguna ventaja económica al usuario que tenga un f.p. adelantado. Los ahorros que se pueden lograr al mejorar el f.p. es amortizar la adquisición e instalación de condensadores de 1 a 5 años. En México, esto lo regula la Dirección General de Electricidad, de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

1.3 Esquemas de distribución de la energía eléctrica

Podemos encontrar diferentes tipos de esquemas de distribución de la energía eléctrica. Es muy importante su identificación, dado que atendiendo al tipo de esquema, así serán los sistemas de protección de las instalaciones contra los contactos indirectos.

1.3.1 Esquema de distribución TT

Esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación.

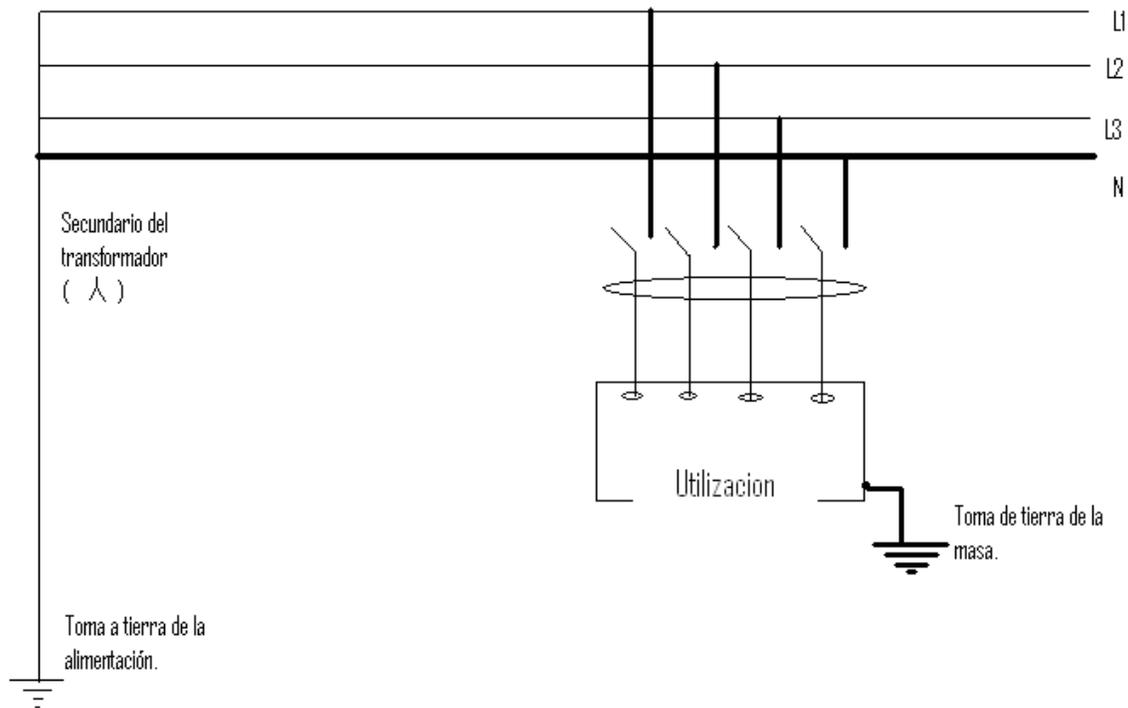


Imagen 1.1 Esquema de distribución TT

En este esquema la intensidad de defecto fase-neutro o fase-tierra pueden tener valores inferiores a los de C.C., pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT.

1.3.2 Esquema de distribución TN

Tiene un punto de alimentación, generalmente neutro y compensador, conectado directamente a tierra y a las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Se tienen 3 tipos de esquemas TN:

- TN-S
- TN-C
- TN-C-S

1.3.2.1 Diferencias entre los esquemas TN-S, TN-C y TN-C-S

Estos esquemas son muy similares entre ellos, pero cuentan con una diferencia característica entre ellos; el esquema TN-S el conductor neutro y el conductor de protección son distintos en todo el esquema, mientras que en el esquema TN-C solo un conductor que tiene la función del neutro y de protección y en el esquema TN-C-S es muy parecido al TN-C con la diferencia de que el conductor que ejerce las funciones de neutro y protección solo se encuentra en parte del esquema.

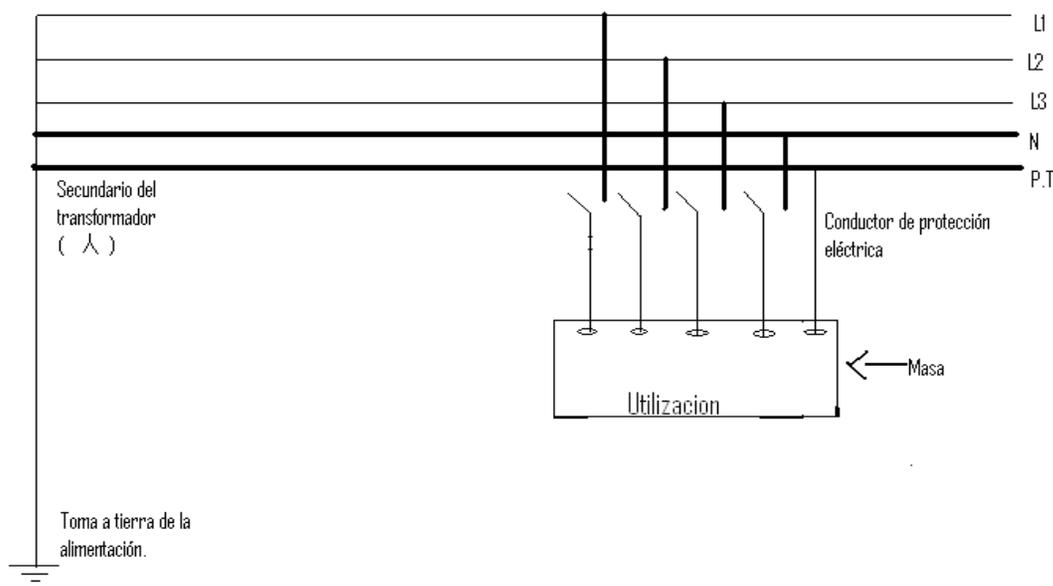


Imagen 1.2 Esquema de distribución TN-S

1.3.3 Esquema de distribución IT

El esquema no tiene ningún punto de la alimentación conectada directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora puestas directamente a tierra. En este esquema la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra tienen un valor

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

suficientemente reducido para no provocar la aparición de tensiones de contacto peligrosas.

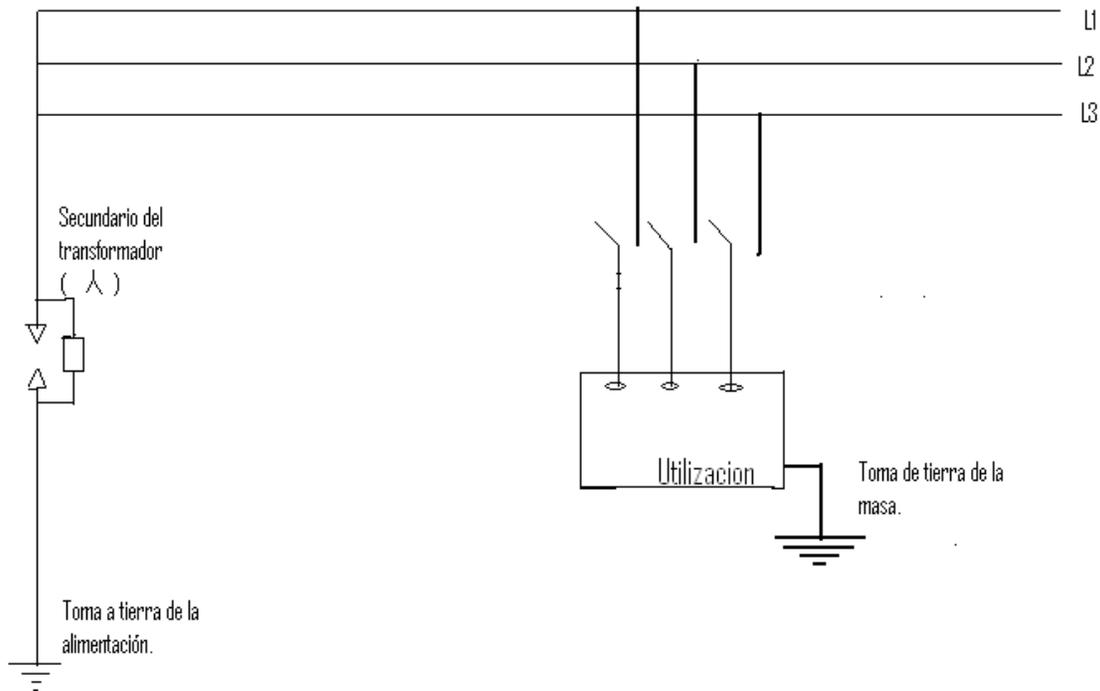


Imagen 1.3 Esquema de distribución IT

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra se obtiene bien por la ausencia de conexión a tierra en la alimentación o bien por la inserción de una impedancia suficiente entre un punto de la alimentación (generalmente el neutro) y tierra. A este defecto puede resultar necesario limitar la extensión de la instalación para disminuir el efecto capacitivo de los cables con respecto a tierra. En este esquema se recomienda no distribuir el neutro.

1.4 Revisión de normas

Para la realización de un proyecto cualquiera, se deben acatar ciertas normas, esto es para garantizar que lo que se está haciendo cumple con lo establecido en el país donde se realice el proyecto.

A continuación mencionaremos las normas que rigen las instalaciones eléctricas:

- ❖ Normas de CFE
- ❖ Normas NOM
- ❖ Normas UNE-EN

1.4.1 Normas de CFE (distribución)

Como su nombre lo indican estas normas nos dan información sobre diseños de proyectos o de sub-estaciones de baja, media y alta tensión, sobre los materiales, equipos y herramientas que lleguemos a utilizar para estos procesos.

Ya que CFE es quien atiende la red de energía eléctrica en la República Mexicana, estas normas tienen que ser cuidadosamente leídas, ya que si estamos desarrollando un proyecto de grandes proporciones, debemos llevarlo a aprobación a esta institución, ya que si no cumplimos con sus normativas, simplemente nuestros proyectos no serán autorizados.

1.4.2 Norma Oficial Mexicana (NOM)

Las estas normas abarcan en todos los campos de trabajo, para las instalaciones eléctricas estas normas nos muestran valores estándares que debemos seguir, según sea nuestro proyecto. También nos indica ciertos procedimientos que deben ser estrictamente seguidos, ya que si no lo tomamos en cuenta, nuestro proyecto estaría incumpliendo con la norma impuesta.

Podemos consultar estas normas siempre que lo requiramos, están seccionadas en los distintos rubros de electricidad, por ejemplo, para iluminación, donde nos indican valores que deben tener de iluminación los diferentes recintos depende de la labor que se realice en él, de instalaciones eléctricas, donde se nos explican a grosso modo, como debe de ser una instalación buena, nos da algunas indicaciones sobre que colores utilizar para ciertas cosas y así nuestra instalación este dentro del estándar establecido, y valores de referencia en algunos aspectos de la instalación.

1.4.3 Norma UNE

Son un conjunto de normas tecnológicas creadas por los comités técnicos de normalización (CTN), de los que forman parte entidades y agentes implicados e interesados en los trabajos del comité.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Se debe mencionar que esta Norma es de origen Español, pero por que aplicar esas normas a México. Bueno muchas de las normativas creadas en México (ejemplo las **NOM**) toman mucha información de normas de otros países, en especial de Estados Unidos. Por esta razón en este trabajo también se toman en cuenta algunas normas que no sean propiamente de nuestro país.

Existen otras normativas que se tienen que seguir, por ejemplo la ANSI y de la IEEE, aunque por el momento solamente las mencionaremos, más adelante se encontrarán algunas referencias de estas.

2 Métodos de cálculo de alumbrado.

2.1 Magnitudes luminosas y sus unidades.

La luminotecnia contiene algunas magnitudes fundamentales, las cuales nos sirven para comparar y valorar diversas fuentes utilizadas en la práctica.

Las magnitudes fundamentales son las siguientes:

- ❖ Flujo luminoso
- ❖ Intensidad luminosa
- ❖ Iluminación
- ❖ Emitancia
- ❖ Luminancia

2.1.1 Flujo luminoso.

En todas las fuentes luminosas o lámparas se obtiene energía luminosa por transformación de otra clase de energía, pero no por completo esta energía se transforma en energía luminosa; en el caso de una lámpara incandescente parte de la energía eléctrica se transforma directamente en energía calorífica y otra parte se convierte en energía radiante. Pero el ojo humano solo puede percibir una pequeña parte de esta energía radiante, la cual está comprendida entre las longitudes de onda de 350m μ y 760m μ que son los límites que nos provocan la sensación de luz.

Se tienen 2 tipos de flujos luminosos; el flujo total de la fuente, corresponde a la cantidad de energía radiante emitida por la fuente en la unidad de tiempo y el flujo sobre la superficie, como su nombre lo indica es la cantidad de energía radiante incidente en una superficie sobre la unidad de tiempo.

La unidad del flujo luminoso, tanto la que proviene de la luminaria como la que incide en una superficie es el lumen.

La fórmula para determinar el flujo luminoso es:

$$\Phi = \frac{Q}{t} (lm)$$

2.1.2 Intensidad luminosa.

Se denomina intensidad de una luminaria en una dirección determinada al flujo emitido en el interior de la unidad de ángulo sólido en dicha dirección.

La fórmula de la intensidad luminosa es:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} (cd)$$

2.1.3 Iluminación.

La iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su extensión, de esto podemos deducir que un cuerpo estará mejor iluminado por un flujo luminoso cuanto menor sea su superficie.

La fórmula que expresa esta relación es:

$$E = \frac{\Phi}{S} (lx)$$

2.1.4 Emitancia

A la emitancia se le llama también radiancia; es la relación entre el flujo radiado o emitido por una superficie luminosa o difusora y la extensión de esta superficie:

$$R = \frac{\Phi}{S}$$

Como notamos la emitancia y la iluminación tienen la misma expresión, pero en caso de la emitancia se trata de una superficie luminosa que emite luz, y en el caso de la iluminación se trata de una superficie que recibe luz.

2.1.5 Luminancia

También llamado brillo o densidad luminosa. El brillo es la sensación producida en el ojo humano a causa de las diferencias de luminancias de los objetos iluminados o luminosos.

Ya sea en una superficie luminosa como en una superficie iluminada, la luminancia de esta superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la sección aparente de esta superficie para el observador situado en alguna dirección, recordando que la sección aparente es la proyección de la superficie S sobre un plano perpendicular a la dirección determinada; por lo tanto la luminancia o brillo es:

$$L = \frac{I}{S \cos \varepsilon} \text{ (nit = } \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}\text{)}$$

Se pueden considerar 2 clases de brillo:

- ❖ Brillo directo: El brillo que produce la luminaria, como ejemplo el brillo de una lámpara fluorescente.
- ❖ Brillo reflejado: Es el brillo que percibe el ojo cuando el flujo luminoso incide sobre una superficie y puede ser reflejado.

El brillo también puede depender de otros aspectos ya si encontramos una fuente con una intensidad luminosa débil pero contenida en un área pequeña la podemos percibir con un gran brillo, y si encontramos otra fuente con mayor intensidad luminosa pero en un área mayor el brillo puede ser menor.

2.2 Leyes de las fuentes de luces puntuales y no puntuales.

2.2.1 Ley del cuadrado de distancia.

El alumbrado de una superficie por una fuente de luz es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y dicha superficie, esto nos dice que la intensidad luminosa disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia.

Expresando lo anterior en una ecuación matemática:

$$E = \frac{\Phi}{d^2}$$

2.2.2 Intensidad luminosa no perpendicular al plano.

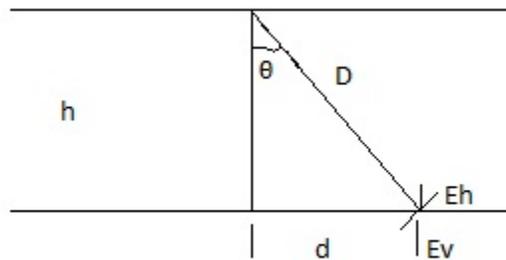


Imagen 2.2 Iluminacion no perpendicular a la fuente

Como podemos ver (**imagen 2.2**), tenemos 2 incógnitas cuando la intensidad luminosa no es perpendicular al plano, a continuación las veremos:

- ❖ Iluminación horizontal (Eh).- La iluminación en un punto es proporcional al coseno del ángulo de incidencia, ya que el ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto considerado.

$$Eh = \frac{I\theta \cos\theta}{D^2} \quad o \quad \frac{I\theta \cos^3\theta}{h^2}$$

- ❖ Iluminación vertical (Ev).- La iluminación vertical de un punto es proporcional al seno del ángulo de incidencia.

$$Ev = \frac{I\theta \operatorname{sen}\theta}{D^2} \quad o \quad \frac{I\theta \cos^2\theta \operatorname{sen}\theta}{h^2}$$

2.2.3 Grado de apertura del haz luminoso

El ángulo de emisión de luz desde una fuente luminosa depende de la luminaria. El ángulo máximo de proyección está en torno a los 120° , de dicho ángulo dependerá la distancia entre luminarias, tanto para alumbrado como exterior.

A continuación se representa los valores a considerar.

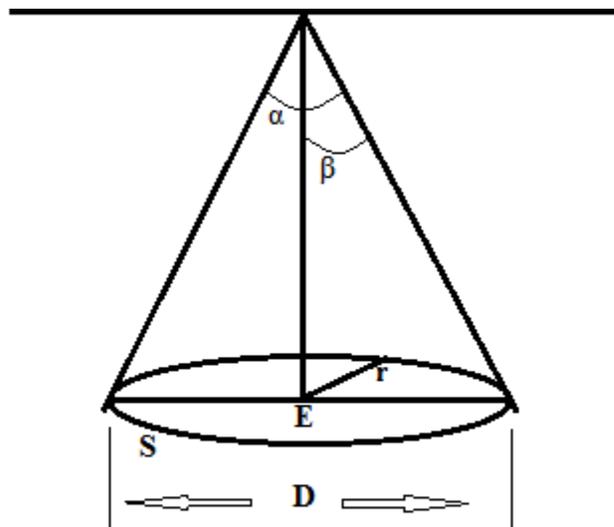


Imagen 2.3 Grado máximo de proyección de una fuente luminosa

2.3 Clases de iluminación.

Varias son las aplicaciones de la iluminación atendiendo al medio a iluminar y se pueden agrupar de la siguiente manera:

- ❖ Iluminación de interiores
- ❖ Iluminación de espacios exteriores
- ❖ Iluminación de vías, plazas, puentes, túneles, etc.
- ❖ Iluminación decorativa
- ❖ Iluminación de fachadas
- ❖ Iluminaciones especiales y puntuales

La iluminación puede destinarse a los siguientes fines:

- ❖ Iluminación general
- ❖ Iluminación localizada
- ❖ Iluminación suplementaria

2.3.1 Iluminación de interiores

En este trabajo nos basaremos en la iluminación interior y por ello tenemos que tomar en cuenta algunos términos importantes para un mejor aprovechamiento luminoso.

Reflexión.- Es cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella. La reflexión de luz depende de las siguientes circunstancias:

- ❖ Condiciones moleculares de la superficie reflectante. Por ejemplo, una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa.
- ❖ Ángulo de incidencia de los rayos luminosos.
- ❖ Color de los rayos incidentes. La luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada.

Refracción.- Es cuando la dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar de un medio a otro de diferente densidad.

Absorción.- En el fenómeno de reflexión de luz, no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos se refleja; una parte de este flujo luminoso queda absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo.

La consecuencia más interesante del fenómeno de absorción es el color de los cuerpos. Si el cuerpo es de color blanco, quiere decir que al incidir sobre él la luz blanca, la refleja enteramente sin haber absorción; por el contrario los cuerpos negros absorben por completo la luz blanca, sin haber reflexión y si es de color gris, parte de la luz es reflejada y parte es absorbida.

Transmisión.- Al pasar los rayos luminosos a través de los cuerpos transparentes o translúcidos, se dice que estos rayos han sido transmitidos.

La transmisión puede ser dirigida si el rayo sufre solamente una variación, esto se consigue utilizando cristales claros (es decir transparentes), pero al utilizar estos materiales se produce un intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos luminosos incidentes. La transmisión es difusa cuando el rayo luminoso que incide queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo del que se trate. Se puede conseguir una transmisión difusa utilizando cristales opalinos, mateados, etc. Como la luminancia es constante en todas direcciones el deslumbramiento es menor que con los cristales claros.

Difusión.- Debido a la rugosidad de la superficie que refleja o transmite, el flujo luminoso se esparce en todas las direcciones del espacio, a este fenómeno se le conoce como difusión. Se puede decir que una superficie perfectamente difusora tiene la misma luminancia en cualquiera de las direcciones del espacio.

2.3.2 Relación entre reflexión, absorción y transmisión luminosas

Estos fenómenos conocidos como reflexión, absorción y transmisión están íntimamente ligados; por lo cual tenemos que:

Flujo luminoso total = Flujo luminoso reflejado + flujo luminoso absorbido + flujo luminoso transmitido.

Hemos de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ❖ En los cuerpos opacos, el flujo luminoso transmitido es nulo. Pues la principal cualidad de dichos cuerpos es la de no dejar pasar la luz o dicho de otra manera no transmiten la luz.
- ❖ No existen en ningún caso cuerpos reflectantes puros.
- ❖ Según estas explicaciones, los cuerpos iluminados se convierten en fuentes luminosas secundarias o virtuales, y una parte del flujo luminoso que procede de estas fuentes virtuales puede percibirse visiblemente.

Ahora expresando lo anterior matemáticamente:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$\Phi_0 = \Phi_r + \Phi_u + \Phi_i$$

Donde:

Φ_0 = Flujo luminoso total

Φ_r = Flujo luminoso reflejado

Φ_u = Flujo luminoso absorbido

Φ_i = Flujo luminoso transmitido

Llamaremos factor de reflexión a la relación que existe entre el flujo reflejado y el incidente.

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_0}$$

Llamaremos factor de absorción a la relación entre el flujo absorbido y el flujo incidente.

$$\alpha = \frac{\Phi_u}{\Phi_0}$$

Llamaremos factor de transmisión a la relación que hay entre el flujo transmitido y el flujo incidente.

$$\tau = \frac{\Phi_i}{\Phi_0}$$

Donde cada uno de estos factores es menor que la unidad y la suma de todos es igual a ella.

Nota: Cabe señalar que estos factores ya están previamente establecidos y los podemos localizar en las tablas de reflexión de materiales que se encuentran en el anexo de este trabajo.

2.4 Diseño de un área de trabajo con luz artificial.

Para cuestiones de diseño de un sitio para la luz artificial se tiene que tener en claro para que servirá dicho espacio, ya que con esta información podemos utilizar alguno de los siguientes tipos de tonalidades de luz:

- ❖ Luz fría.- Se utiliza para ambientes, locales y lugares en los que hay o se desarrollara gran actividad.
- ❖ Luz cálida.- Se utiliza en ambientes y salas en donde se busca el confort. Se denomina como luz de día o blanca, ya que emite una calidad cromática asemejada a la que emite la luz solar en verano, al medio día y a la altura de nuestra latitud.

2.4.1 Distribución del alumbrado en función al tipo de luminaria.

En la siguiente imagen se pueden ver las formas de distribución de la luz dependiendo de las luminarias que se utilicen.

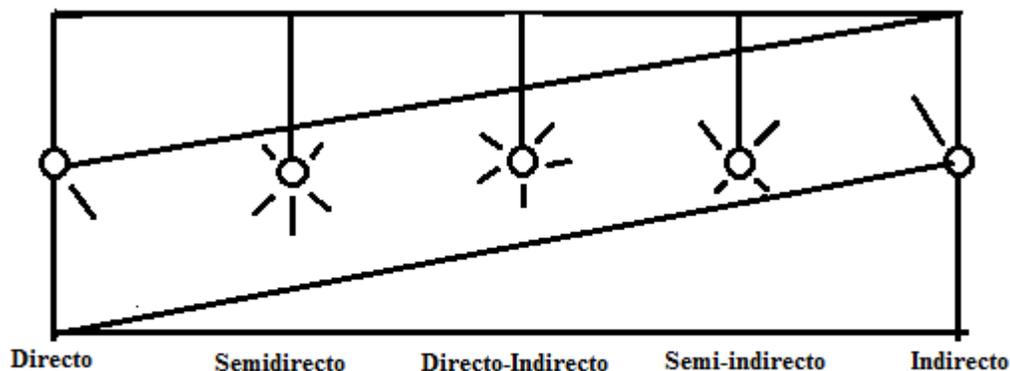


Imagen 2.5 Distribución de la luz según el tipo de luminaria

Alumbrado directo:

El 90% al 100% de la luz se dirige hacia abajo. Las paredes y techo tienen poca absorción.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Alumbrado semi-directo:

El 60% al 90% de la luz se dirige hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal.

Alumbrado directo-indirecto:

El 40% al 60% de la luz se dirige hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal.

Alumbrado semi-indirecto:

El 60% al 90% de la luz se dirige hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal. En este sistema se dan pocas sombras y deslumbramientos.

Alumbrado indirecto:

El 90% al 100% de la luz se dirige hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal. Este sistema es eficaz, por la ausencia de sombras y brillo.

2.4.2 Características luminosas respecto al área a iluminar.

Alumbrado general:

Alumbrado en zonas y locales sin tener en cuenta las necesidades puntuales que pudieran tener algunos de los elementos o partes determinadas de dicha zona.

Alumbrado general localizado:

Alumbrado general en zonas concretas de trabajo, bastando dicha iluminación para iluminar las áreas contiguas.

Alumbrado localizado:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Alumbrado que proporciona una intensidad elevada en puntos concretos de una zona de alumbrado, combinado con un alumbrado general o un alumbrado general localizado.

Alumbrado de interiores:

Alumbrado de locales o espacios cerrados, como el hogar, comercios, escuelas, oficinas, hoteles, hospitales, etc.

Alumbrado público:

Alumbrado a espacios abiertos, como calles, vías públicas, plazas, parques, jardines y muchos otros.

Alumbrado exterior de industrias y diversos:

Este grupo pertenecen las plantas dosificadoras, obras, puertos, almacenado exterior de materias y materiales, parking de coches, estaciones de servicio, etc.

Alumbrado decorativo:

Alumbrado destinado tanto a interiores como a exteriores, como son los escaparates, crear ambientes, iluminar edificios, monumentos, estatuas, etc.

Alumbrado en zonas deportivas:

Alumbrado en campos deportivos, piscinas, polideportivos, etc.

2.4.3 Características de un correcto alumbrado artificial.

Un buen alumbrado artificial debe reunir las siguientes características:

- ❖ El nivel de iluminación que corresponda a la actividad a desarrollar.
- ❖ Que la iluminación sea uniforme en toda la superficie (evitar zonas oscuras).
- ❖ Asegurar el nivel de iluminación en todos los planos (verticales, horizontales e inclinados).

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ Elegir el color de la luz que convenga a la actividad a desarrollar.
- ❖ Evitar deslumbramientos y reflexiones.
- ❖ Elegir el tipo de alumbrado más idóneo (directo, indirecto, etc.).
- ❖ Tener en cuenta el color de las paredes, techo y suelo.
- ❖ No descuidar las áreas circundantes dentro del alumbrado de una zona o superficie.
- ❖ Asegurar el nivel de iluminación en el tiempo. Factores negativos son el polvo, suciedad, envejecimiento, etc.
- ❖ Garantizar el confort visual para las personas que estén en la zona con alumbrado artificial.

2.4.4 Encendido automático de lámparas

La instalación de un sistema de encendido automático es una herramienta realmente útil; ya que existen zonas que no necesitan estar constantemente iluminadas, esto es porque su uso es poco constante en el día, lo que nos representaría un gasto innecesario si no contamos con un sistema de este estilo.

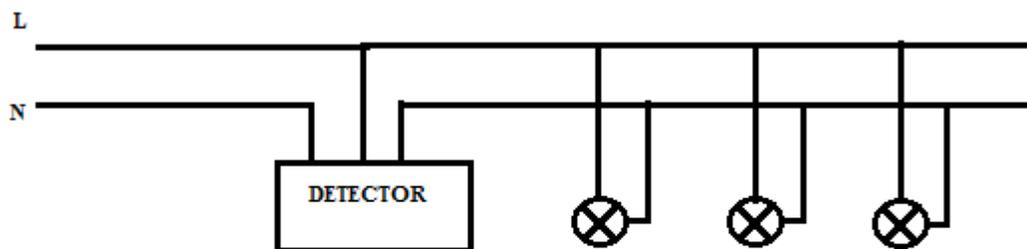


Imagen 2.6 Esquema con solo un puesto de detección

Como podemos ver en el esquema anterior, los detectores son de gran utilidad, ya que estos son los que mandan la señal de encendido a las luminarias que están sincronizados a él. Este tipo de instalación es muy conveniente para zonas de descarga, estacionamientos interiores o subterráneos, pasillos, escaleras, etc.

2.5 Cálculo de número de luminarias en un local

Para el diseño de cualquier local se debe de saber cuántas luminarias necesitamos para dicho local, esto nos sirve para tener un correcto flujo luminoso estipulado en las normas del país, las herramientas que nos servirán para hacer el cálculo son las siguientes formulas:

$$\phi t = \frac{Em(S)}{Cu(Cm)}$$

Dónde:

Em.- Nivel de iluminación medio (lux)

ϕt .-Flujo luminoso necesitado (lumen)

S.-Superficie

Cu.-Coeficiente de utilización

Cm.-coeficiente de mantenimiento

$$Nl = \frac{\phi t}{n(\phi l)}$$

Dónde:

Nl.- # de luminarias

ϕl .- Flujo por luminaria

n.- # de lámparas por luminaria

$$Nancho = \sqrt{\frac{Nl}{b}} (a)$$

$$Nlargo = Nancho \left(\frac{b}{a}\right)$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

La siguiente formula se utiliza para comprobar si el valor de la iluminación es el adecuado con los resultados de nuestro cálculo:

$$Em = \frac{Nl(n)(\phi l)(Cu)(Cm)}{S}$$

2.6 Diseño de iluminación para un edificio de oficinas.

Aquí se verán las cargas principales que se pueden localizar en un edificio, dichas cargas rayos. Como vemos a este capítulo le corresponde el diseño de iluminación de las cargas de un edificio.

Dimensiones del diseño:

Largo= 58m

Ancho= 38m

Altura total por piso= 7m

Altura de montaje= 2.85m

Altura área de trabajo= 0.85

Área de zona de trabajo.- Cabe mencionar que en este edificio las actividades a desarrollar son de oficina, donde la distribución de área es igual del piso 1 al piso 8, que es lo que se propondrá, y el área de trabajo de planta baja tendrá una dimensión diferente a la de los otros pisos.

$$A_{piso} = 58m(38m) = 2204m^2$$

$$A_{elevadores} = 36.6m(10m) = 366m^2$$

Ahora le restaremos el valor de área de elevadores al área de piso

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$A_{iluminar} = 2204m^2 - (366m^2) = 1838m^2$$

Ahora que sabemos cuál es el área a iluminar y actividad basaremos el diseño de la iluminación, consultando la tabla de niveles de iluminación.

Consultando diferentes catálogos de luminaria se optó por una luminaria Philips que nos da un flujo luminoso de 3500lm (hoja de datos de la luminaria adjunta en la sección de anexo), y la diferencia entre la altura de montaje y la altura de plano útil es de 2 metros.

$$E = \frac{3500lm}{2^2} = 875lx$$

Como vemos el valor anterior es conocido como valor puntual, nos indica la cantidad de nivel luminoso debajo de la lámpara, ahora tenemos que calcular la iluminación las candelas.

$$I = \frac{\Phi}{w}$$

De la formula anterior tenemos que calcular el ángulo solido (w), por medio de la siguiente fórmula:

$$w = \frac{S}{r^2}$$

Ahora tenemos una tercera incógnita, que es el radio, así que bajo la función trigonométrica del coseno y el triángulo de Pitágoras podemos obtener el radio.

$$\cos\theta = \frac{h}{D}$$

Despejando D y tomando en cuenta que el máximo de ángulo de apertura son 50°, tomamos un valor de 25° para determinar el radio:

$$D = \frac{2}{\cos 25^\circ} = 2.22$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$d = \sqrt{2.22^2 - 2^2} = 0.95$$

$$w = \frac{2}{0.95} = 2.1$$

$$I = \frac{3400}{2.1} = 1619.04 \text{cd}$$

Con el valor obtenido podemos calcular el valor de iluminación vertical y horizontal bajo valores 0°, 25° y 50°.

$$Eh_0 = \frac{1619(1)}{(2.22)^2} = 329 \text{ lx}$$

$$Ev_0 = \frac{1619(0)}{(2.22)^2} = 0 \text{ lx}$$

$$Eh_{25} = \frac{1619(\cos 25^\circ)}{(2.22)^2} = 298.2 \text{ lx}$$

$$Ev_{25} = \frac{1619(\sin 25^\circ)}{(2.22)^2} = 139 \text{ lx}$$

$$Eh_{50} = \frac{1619(\cos 50^\circ)}{(2.22)^2} = 211.51 \text{ lx}$$

$$Ev_{50} = \frac{1619(\sin 50^\circ)}{(2.22)^2} = 252 \text{ lx}$$

Ahora calcularemos el índice del local, calcularemos para la sección de oficinas 2 índices para oficinas cerradas y para espacios de trabajo amplios:

Primero calcularemos el índice de la oficina cerrada, esto sirve para poder ver los factores de reflexión, transmisión y absorción de las tablas de materiales.

$$K_{ofc} = \frac{8.825(8.905)}{2(8.825 + 8.905)} = 2.21$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$K_{esam} = \frac{13.88(34.74)}{2(13.88 + 34.74)} = 4.92$$

Ahora calcularemos cuantas luminarias se necesitan para la planta baja en zona de trabajo, donde como sabemos el nivel de iluminación medio es de 500lx.

$$\phi t = \frac{500 (813)}{0.92(0.8)} = 557065.2lm$$

$$Nl = \frac{557065.2}{1(3500)} = 157luminarias$$

$$Nlargo = \sqrt{\frac{157}{58}} (38) = 10.01$$

$$Nancho = 10.01 \left(\frac{58}{38} \right) = 15.72$$

Tenemos un resultado de 157 luminarias, pero no se están tomando en cuenta los muros que dividen dicha área de trabajo, entonces al resultado anterior le restaremos un 10% de luminarias (**este ajuste se tomó por medio de las simulaciones de iluminación**).

Ahora calcularemos la iluminación que necesitamos en las zonas de tránsito, como pasillos, escaleras y lobeé, la iluminación media para estas zonas es de 100lm. En planta baja es donde localizamos más zona de tránsito, así que tomaremos una sección de esta zona para poder calcular todas las luminarias que requiere dicha zona:

$$a=23; b=8.23; A=7m, S=7m$$

$$\text{Luminarias} = 2 \times 4000lm$$

$$E = \frac{8000}{(7)^2} = 163.26lx$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$\phi t = \frac{100 (189.29)}{0.92 (0.8)} = 25718.75lm$$

$$Nl = \frac{25718.75}{2(4000)} = 3.21$$

$$Nancho = \sqrt{\frac{3.21}{8.23} (23)} = 3$$

$$Nlargo = 3 \left(\frac{8.23}{23} \right) = 1$$

De acuerdo al resultado la zona de los pasillos en conjunto tendrá un total de 12 luminarias, las escaleras y el lobeé tendrán 1 luminaria por piso, donde las luminarias de las escaleras tendrán un sensor de movimiento.

Ahora calcularemos el área de trabajo del piso 1, recordemos que a partir de este piso hasta el piso 8 tendremos la misma área de trabajo:

Para determinar el área de trabajo en estos pisos, tomaremos el área total del terreno y le restaremos el área de los elevadores.

$$areapiso = 2204m^2 - 366m^2 = 1838m^2$$

Como ya calculamos la iluminación puntual, vertical y horizontal para planta baja, estos son los mismos valores para cada piso, así que pasaremos directamente al cálculo del número de luminarias:

$$\phi t = \frac{500(1838)}{0.92 (0.82)} = 1248641.31lx$$

$$Nl = \frac{1248641.31}{1(3500)} = 356.75$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{356.75}{58}} (38) = 15.2$$

$$N_{largo} = 15.2 \left(\frac{58}{38} \right) = 23.2$$

Aplicando el mismo concepto del -10% por muros falsos.

Solamente nos hace falta calcular el nivel de iluminación de los estacionamientos, su iluminación media es igual a la de los pasillos.

$$A=3.8m$$

$$D = \frac{3.8}{\cos 25^\circ} = 4.19$$

$$d = \sqrt{(4.19)^2 - (3.8)^2} = 1.76$$

$$w = \frac{3.2}{1.76^2} = 1.03$$

$$I = \frac{3850}{1.03} = 3737.86cd$$

$$E = \frac{3850}{3.8^2} = 266.62lx$$

$$E_{h0} = \frac{3737.86 \cos 0}{4.19^2} = 212.91lx$$

$$E_{v0} = \frac{3737.86 \sin 0}{4.19^2} = 0$$

$$E_{h25} = \frac{3737.86 \cos 25}{4.19^2} = 192.96lx$$

$$E_{v25} = \frac{3737.86 \sin 25}{4.19^2} = 89.97lx$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$Eh50 = \frac{3737.86 \cos 50}{4.19^2} = 136.85lx$$

$$Ev50 = \frac{3737.86 \sin 50}{4.19^2} = 163.09lx$$

Ahora calcularemos el número de luminarias a utilizar.

$$\phi t = \frac{100(1280)}{0.92(0.8)} = 173913.04lm$$

$$Nl = \frac{173913.04}{2(1925)} = 45.17$$

$$Nlargo = \sqrt{\frac{45.17}{40}}(32) = 6.01$$

$$Nancho = 6.01 \left(\frac{40}{32} \right) = 7.51$$

Ya tenemos todas las luminarias utilizadas así que podemos determinar la potencia que absorbe el sistema de iluminación de este edificio.

$$Ppisos = 330(7) + 9(7) = 2310(40) + 63(49) = 92400 + 3087 = 95487w$$

$$Ppb = 150(40) + 18(90) = 6000 + 1620 = 7620w$$

$$Pest = 45(3) = 135(42) = 5670w$$

Entonces:

$$Pt = 95487 + 7620 + 5670 = 108777w = 108.777Kw$$

Como podemos ver ya calculamos la potencia del edificio del sistema de iluminación, con esto concluimos este capítulo.

3 Calculo de conductores, tuberías y elevadores del edificio.

3.1 Conductores

3.1.1 Sección mínima del conductor neutro.

Dependiendo del número de conductores con que se haga la distribución, la sección mínima del conductor neutro será:

- ❖ Con 2 o 3 conductores, el conductor neutro será igual a la de los conductores fase.
- ❖ Con 4 o más conductores la sección mínima del neutro será de 10mm² para cobre y de 16mm² para aluminio.

3.1.2 Identificación del conductor neutro.

El conductor neutro deberá estar identificado por un sistema adecuado. En las líneas de conductores desnudos se admite que no lleve identificación alguna cuando este conductor tenga distinta sección o cuando este claramente diferenciado por su posición.

3.1.3 Continuidad del conductor neutro.

El conductor neutro no podrá ser interrumpido en las redes de distribución, salvo que esta interrupción sea realizada con alguno de los dispositivos siguientes:

- ❖ Interruptores o seccionadores omnipolares que actúen sobre el neutro y las fases al mismo tiempo (corte omnipolar simultaneo), o que conecten el neutro antes que las fases y desconecten estas antes que el neutro.
- ❖ Uniones amovibles en el neutro próximas a los interruptores o seccionadores de los conductores de fase, debidamente señalizados, y que solo puedan ser maniobrados mediante herramientas adecuadas, no debiendo, en este caso ser accionado el neutro sin que lo estén previamente las fases, ni conectadas estas sin haberlo sido previamente el neutro.

3.2 Conductores eléctricos con carácter general

- ❖ El número de conductores de una derivación vendrá fijado por el número de fases necesarias para la alimentación de receptores de la derivación correspondiente y según su potencia, llevando cada línea su correspondiente conductor neutro, así como el conductor de protección.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ No se admitirá el empleo del conductor neutro común ni de conductores de protección común para distintos suministros.
- ❖ En caso de suministros individuales, el punto de conexión del conductor de protección se deja a criterio del proyectista de la instalación.
- ❖ Cada derivación individual incluirá el hilo de mando para posibilitar la aplicación de diferentes tarifas.
- ❖ Los cables no presentaran empalmes y su sección será uniforme, exceptuándose en cada caso las conexiones realizadas en la ubicación de los contadores y en los dispositivos de protección.
- ❖ Los conductores a utilizar serán de cobre o aluminio, aislados normalmente y unipolares, deben ser fácilmente identificables, especialmente en lo que respecta el neutro y el de protección.
- ❖ Los cables no serán propagadores de flama y con emisión de humos y opacidad reducida.

3.2.1 Conductores de protección

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos.

En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra. En otros casos reciben igualmente el nombre de conductores de protección a aquellos conductores que unen las masas:

- Al neutro de la red
- A un relé de protección

3.2.2 Caídas de tensión en las instalaciones de distribución

- ❖ La caída máxima de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la misma será menor o igual al 3%.
- ❖ La sección de los conductores será tal que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización será menor del 3% de la tensión nominal para cualquier circuito interior y del 3% para el alumbrado.
- ❖ Para instalaciones industriales que se alimentan directamente en alta tensión, mediante un transformador de distribución propio, se considera que la instalación interior de baja tensión a su origen en la salida del transformador. En este caso,

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

las caídas de tensión máximas admisibles serán del 4.5% para alumbrado y del 6% para los demás usos.

3.2.3 Cálculo de conductores, su resistencia y caída de tensión.

La resistividad de un conductor comercial de cobre, es usualmente de 0.017 a 0.018 Ω a una temperatura de 24°C.

Para estos cálculos se tomará un valor promedio de 0.0175 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. La resistencia eléctrica de cualquier conductor es:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

donde: R.- Resistencia eléctrica en Ω
 ρ .- Resistividad del cobre 0.0175 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ a 24°C y 0.01724 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ a 20°C
S.- Sección del conductor en mm^2

La caída de tensión (e) en un conductor es:

$$e = \frac{\rho(L)(I)(2)}{S}$$

; La multiplicación por 2 que se ve aquí es para considerar la longitud total del conductor.

Ahora si conocemos la caída de tensión y queremos determinar la corriente, solamente se despeja dicha incógnita o si queremos saber la sección transversal del conductor a utilizar se despeja esa incógnita.

Ahora la corriente alterna de línea en un conductor para los diferentes sistemas de distribución, se puede determinar por las sig. formulas:

$$\begin{aligned} 1 \text{ fase (2 hilos):} & \quad I = \frac{P}{2Vf \cos\theta} \\ 2 \text{ fases (3 hilos):} & \quad I = \frac{P}{2Vf \cos\theta} \text{ (hilo exterior)} \\ 2 \text{ fases (3 hilos):} & \quad I = \frac{P}{\sqrt{2}Vl \cos\theta} \text{ (hilo común)} \\ 3 \text{ fases (3 o 4 hilos)} & \quad I = \frac{P}{3Vf \cos\theta} \text{ o } \frac{P}{\sqrt{3}Vl \cos\theta} \end{aligned}$$

3.3 Conductos porta-cables.

Por la importancia que tienen los conductos en las instalaciones eléctricas, se desarrolla el estudio de estos materiales. Muchos son los elementos para alojar y proteger cables y conductores, en general son:

- ❖ Tubos
- ❖ Bandejas porta-cables
- ❖ Canales porta-cables
- ❖ Molduras diversas

La norma **UNE 20.334 (HD 394)** clasifica los tubos de acuerdo con la siguiente denominación:

1ra. letra	2da. letra	3ra. letra	4ta. letra
A.- Aislante.	R.- Rígido.	N.- Normal.	L.- No propagador de la flama.
M.- Metálico.	C.- Curvable.	B.- Blindado.	Q.- Resistente a agentes químicos, fuego y a penetración de líquidos.
T.-Metálico aislamiento .	con F.- Flexible.		

Tabla 3.1 Nomenclatura de los tubos según la UNE

3.3.1 Tubos protectores.

La instrucción **ITC-BT-21** hace la siguiente clasificación de los tubos protectores:

Los tubos protectores pueden ser:

- ❖ Tubos y accesorios metálicos.
- ❖ Tubos y accesorios no metálicos.
- ❖ Tubos y accesorios compuestos (constituidos por materiales metálicos y no metálicos).

Los tubos se clasifican de acuerdo con las normas **UNE-EN** en:

- ❖ **UNE-EN 50.086-2-1.**-Sistemas de tubos rígidos.
- ❖ **UNE-EN 50.086-2-2.**-Sistemas de tubos curvables.
- ❖ **UNE-EN 50.086-2-3.**-Sistemas de tubos flexibles.
- ❖ **UNE-EN 50.086-2-4.**-Sistemas de tubos enterrados.

3.3.2 Características de los tubos protectores.

- ❖ Tubos metálicos rígidos blindados, son estancos, resistentes y no propagadores de flama. Pueden instalarse al aire o empotrados.
- ❖ Tubos metálicos rígidos blindados con aislamiento interior.
- ❖ Tubos aislantes rígidos normales curvables en caliente. Fabricados de PVC o polietileno, son estancos y no propagadores de llama.
Se curvan con calor y pueden instalarse al aire o empotrados.
- ❖ Tubos aislantes flexibles normales que pueden curvarse a mano. Fabricados con PVC en forma anillada y normalmente su instalación es empotrada.
- ❖ Tubos metálicos flexibles con cubierta metálica que puede curvarse a mano.

3.3.3 Instalaciones bajo tubo

El montaje de los tubos puede ser:

- ❖ Montaje fijo en superficie
- ❖ Montaje fijo empotrado
- ❖ Montaje al aire

Las características del montaje serán las siguientes:

- ❖ El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes del local donde se efectúa la instalación.
- ❖ La unión entre tubos se realizará utilizando accesorios adecuados que aseguren la protección de los conductores.
- ❖ Los tubos aislantes rígidos curvables en caliente podrán ser ensamblados entre sí en caliente, recubriendo el empalme con una cola cuando sea preciso asegurar una unión estanca.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ Las curvas de los tubos serán continuas, sin reducción de la sección.
- ❖ Los tubos soportaran como mínimo una temperatura de 60°C.
- ❖ Tendrá que resultar fácil la introducción y retirada de los conductores en los tubos, después de colocados y fijados estos y sus accesorios, disponiendo de los registros adecuados.
- ❖ Los registros en los tramos rectos no estarán separados entre sí más de 15 metros.
- ❖ El número de curvas en ángulo situados entre 2 registros consecutivos, no será superior a 3.
- ❖ Los conductores se alojarán normalmente en tubos después de que estos han sido instalados.
- ❖ Los registros podrán estar destinados únicamente a facilitar la introducción y retirada de los conductores en los tubos o servir al mismo tiempo como cajas de empalme o derivación.
- ❖ La conexión entre conductores se realizará en el interior de cajas apropiadas de material aislante y no propagador de llama. Si las cajas son metálicas estarán protegidas contra la corrosión.
- ❖ Las dimensiones de las cajas permitirán alojar holgadamente todos los conductores que deban contener. Su profundidad será como mínimo igual al diámetro del tubo mayor más el 50% del mismo (1.5 veces del diámetro del tubo mayor), con un mínimo de 40mm. Si la entrada de tubos a la caja debe ser estanca, se utilizaran prensaestopas o racones adecuados.
- ❖ No habrá empalmes de conductores dentro de los tubos. Los empalmes se realizarán en las cajas empleando elementos de conexión, nunca el empalme será por simple retorcimiento.
- ❖ Se cuidará de que en el interior de las cajas, los bordes libres no deterioren el aislamiento de los conductores para lo que se les colocará si procede, boquillas con bordes redondeados o dispositivos equivalentes. También podrá ser suficiente el redondeo de los bordes.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ En los tubos metálicos sin recubrimiento interior pueden producirse condensaciones de agua que habrá que evacuar por un trazado conveniente (% de inclinación) con evacuación y aireación conveniente.
- ❖ Si los tubos metálicos son accesibles, se conectarán a tierra, asegurando su continuidad.
- ❖ Los tubos metálicos no podrán utilizarse como conductores de protección o de neutro.

Si el montaje se hace en superficie:

- ❖ Los tubos se fijaran al techo o paredes por medio de abrazaderas, que estarán protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas. La distancia máxima entre 2 puntos de fijación, no será superior a 0.5m. La fijación será cuidadosa en curvas, entradas a cajas y extremos con dificultades.
- ❖ En tendidos rectos, las desviaciones del eje del tubo con respecto a la línea que une los puntos extremos, no serán superiores al 2%.
- ❖ Siempre que sea posible, los tubos se colocaran a una altura mínima de 2.5m del suelo para evitar que estén sometidos a eventuales daños mecánicos.

Si el montaje se hace empotrado:

- ❖ Las rozas a las que se empotran los tubos tendrán las dimensiones y realización adecuados para que no perjudiquen la integridad de los tubos y que queden recubiertos por una capa de al menos 1cm de espesor. En los ángulos, el espesor de la capa podrá reducirse a 0.5cm.
- ❖ Los tubos destinados a la instalación eléctrica de las plantas inferiores, no se instalaran entre fijado y revestimiento.

Se podrán instalar entre fijado y revestimiento los tubos que deban quedar recubiertos por una capa de hormigón o mortero de 1cm de espesor, como mínimo, además del revestimiento.

- ❖ Cuando el trazado de los tubos tenga cambio de dirección, los tubos estarán convenientemente curvados o provistos de codos o `T's apropiados, y que en este último caso sólo se admitirán los provistos de tapas de registro.
- ❖ Los tipos de registros y las cajas de conexión quedaran accesibles y desmontables una vez finalizada la obra. Los registros y cajas quedaran enrazadas con la el interior de un alojamiento cerrado o practicable.
- ❖ Cuando se instalen tubos empotrados en paredes, es conveniente disponer de trazados horizontales a 50m del suelo o techos y los verticales a una distancia de los ángulos de esquinas no superior a 20m.

Si el montaje se hace al aire:

- ❖ Este tipo de instalaciones solo está permitida para la alimentación e maquinas o elementos con movilidad restringida desde canalizaciones pre-fabricadas y cajas de derivación fijadas al techo y para las que se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones;

La longitud total de la conducción en el aire no será superior a 4m y no empezara a una altura inferior a 2m.

3.4 Tipos de tubería y usos.

La ventaja principal del tubo (También conocido como conduit) es a protección mecánica que suministra a los conductores. El uso limitado de conduit mantiene bajos los costos suministrando protección a la instalación en donde se necesite.

El conduit resulta conveniente ya que instalado de manera adecuada dará muchos años de servicio. Este puede estar hecho de acero, aluminio o plástico; una de sus características importantes es que el conduit metálico rígido es un excelente conductor a tierra, pero esto

solo se logra cuando existe una trayectoria eléctrica continua en toda la instalación del conduit.

3.4.1 Conduit rígido.

Este conduit se asemeja mucho a la tubería que se emplea para el agua o el gas. El espesor de paredes casi es el mismo, se encuentra en los mismos tamaños y cuenta con accesorios similares. Su superficie interior se ha alisado especialmente para que se puedan tirar de los conductores a través de él fácilmente. El propio tubo esta hecho de una aleación especial para facilitar su corte y doblado.

Este conduit proporciona la máxima protección a los conductores y es el más conveniente.

3.4.2 Conduit intermedio.

Es esencialmente igual que el conduit rígido, pero su pared es ligeramente más delgada, es más fácil cortarlo y doblarlo y es menos costoso que el rígido.

3.4.3 Tubería eléctrica metálica (TEM).

Este tipo de tubo también se conoce como conduit de pared delgada. Su espesor de pared es solo aproximadamente el 40% del que tiene el conduit rígido. Esto facilita el corte y el doblado, pero sus paredes son demasiado delgadas para utilizar accesorios roscados.

Con el fin de obtener juntas seguras y conexiones herméticas con las cajas de registro se utilizan accesorios del tipo de compresión o del tornillo prisionero.

3.4.4 Conduit flexible.

El conduit flexible se ve como un cable blindado extra grande. Con frecuencia se le da el nombre de “Grienfield”, el nombre de uno de sus fabricantes. Es bastante adecuado para tendidos de cable en los que no pueden evitarse cambios frecuentes de dirección y para conexiones donde la vibración dañaría el conduit rígido.

El conduit flexible da buena protección a los conductores y es fácil de trabajar. Su resistencia de construcción es relevantemente alta en espiral y lo hace inapropiado para conectar a tierra el equipo.

3.4.5 Accesorios conduit rígido e intermedio

Condulets.- Los cambios de dirección en ángulo recto por encima del suelo se pueden hacer con condulets. Estos son cajas rectangulares de acero galvanizado con 2 o 3 aberturas roscadas. Por lo general una de las aberturas está localizada en uno de los lados cortos del rectángulo, la otra abertura puede estar en cualquiera de los lados largos, o bien, en la parte posterior de la caja.

Uno de los lados de la caja está cubierta con una escotilla removible. El conduit se puede atornillar en las aberturas del condulet. La escotilla se quita para tirar de los cables por ella y para hacer el cambio de dirección en ángulo recto.

Se utilizan los condulets siempre que se deba hacer una vuelta brusca a ángulo recto, o cuando se deben empalmar o unir conductores. Los condulets que tienen 3 aberturas son útiles en las uniones en 'T', cuando se deben colocar apagadores o tomas de corriente arriba o abajo del tendido principal del conduit.

Codos.- Se pueden usar codos para cambios de dirección a ángulo recto siempre a 45°. Los codos se unen al conduit recto por medio de acoplamientos estándar, dando lugar a un cambio de dirección suave a través del cual se puede tirar de los conductores.

Piezas en 'S'.- Cuando en un tendido se necesita una desviación ligera, se pueden utilizar los adaptadores en S. Se presenta esta situación cuando ha de desplazarse el conduit a fin de evitar tubería de agua, otro conduit, o bien, variaciones en las paredes o pisos. El adaptador en S desplaza la línea unas cuantas pulgadas hacia la izquierda o derecha, hacia arriba o abajo. Los 2 tramos de conduit unidos al adaptador en S quedan paralelos.

3.4.6 Accesorios conduit flexible

Los accesorios para conduit flexible se sujetan a él interna o externamente. Los de tipo interno están diseñados para atornillarse en la espiral del conduit. Este tipo de conector cubre el extremo del conduit por completo, protegiendo a los conductores del contacto con el borde cortante del mismo. Los conectores que se sujetan externamente, se aseguran al conduit con tornillos de sujeción.

3.4.7 Accesorios TEM

Existen 2 tipos:

- ❖ Accesorios a prueba de agua (Herméticos).- Los accesorios herméticos unen las secciones de tubo por medio de un ajuste de compresión de 5 piezas.
- ❖ Accesorios para ubicaciones secas.- Los accesorios para ubicaciones secas son más sencillos en su uso y menos caros. Uno de los tipos consta con un manguito y 2 o 4 tornillos prisioneros.

3.5 Sistemas secundarios.

3.5.1 Sistemas de detección de incendios.

Tienen por objetivo prevenir accidentes en los edificios, detectando con la máxima rapidez el inicio de cualquier incendio.

El objetivo de las instalaciones será limitar el daño posible, pero su eficacia será nula si no existe una estructura de alarma y de combate contra-fuego adecuada.

3.5.1.1 Tipos de detectores.

- ❖ Detectores de gases de combustión.- Son los de mayor seguridad de funcionamiento y basan el mismo para la detección de los gases por ionización o por absorción y difusión de la luz, mediante la existencia de 2 cámaras, de las que una es cerrada y de comparación, con un circuito electrónico de baja intensidad ($10^{-9}A$).

Si penetran los humos en la cámara exterior, desciende la intensidad y aumenta la caída de tensión y cebándose una lámpara de cátodo frío se da la alarma.

Basando su funcionamiento en la llegada de los gases por convención es conveniente elegir su colocación en lugares donde tienda a concentrarse dichos gases, lejos de superficies frías. La superficie eficaz de detección con estos aparatos es de unos 50 a 70 m².

- ❖ Detector de llamas.- Actúa bajo la acción de infrarrojos, acusándose las longitudes de onda correspondientes a las emitidas por las llamas, que corresponden a la frecuencia entre 6 y 30 Hz. Llevan un retardo de funcionamiento del orden de 10¹¹ para evitar alarmas.

Su colocación es adecuada con cubiertas elevadas y combinándolas si es posible con el de detector de gases pueden cubrir una superficie de 150m² aproximadamente.

- ❖ Detectores térmicos.- Acusan los aumentos de temperatura del aire por encima de un valor preestablecido, normalmente del orden de 70°C. Su eficiencia es relativa a la superficie defendida es de los 12m².
- ❖ Detectores termovelocimétricos.- Acusan las elevaciones bruscas de temperatura (superiores a 100°C) y su empleo es muy adecuado para salas de calderas, cuartos de máquinas y similares. La superficie protegida por detector es de 20m².

3.5.1.2 Instalación de la detección de incendios

Las señales producidas en los aparatos detectores pueden utilizarse para distintos fines, mediante un suministro de corriente y utilizando los impulsos eléctricos de los detectores como señales de maniobra, se pueden actuar deteniendo instalaciones (de ventilación, de elevadores, etc.), deteniendo maquinarias en procesos industriales, bloqueando puertas o cerrando pasos de propagación de humo, etc., pero sobre todo pueden convertirse en señales informativas, mediante acciones ópticas o acústicas en cuadros de control, en puntos o personajes claves, etc. Para ello estos detectores están alimentados eléctricamente con garantías contra el fallo de suministro, proporcionado por baterías o acumuladores.

3.5.2 Ascensores

3.5.2.1 Tipos de ascensores

En cuanto a tipología de ascensores por su tamaño la gama es muy amplia, partiendo de 3 a 4 personas como mínimo (300Kg. De carga útil), hasta grandes elevadores de 12 plazas (900Kg), o más en casos especiales. En cuanto a la velocidad pueden utilizarse de 0.5m/s (lentos), 0.8 a 1m/s (normales), de 1.5m/s (veloces) e incluso a mayores velocidades.

En cuanto a los cerramientos existen modelos con puerta interior (cabina) y exterior (caja de ascensor) y modelos con puertas automáticas (que precisan de espacio ocupado en recinto mayor, e incluso en un 50%).

En cuanto al sistema de maniobra, existen modelos con mando normal, independiente de uno a otro ascensor en un conjunto, modelos con memoria que registran las llamadas y las atienden ordenadamente, modelos con maniobra colectiva entre varios ascensores y modelos con programa de funcionamiento conjunto, para grupos de varios ascensores en edificios públicos de gran densidad de tráfico.

En general, la mejor ubicación es situarlos en el centro de gravedad de la planta del edificio, junto a las escaleras principales. Los grupos de ascensores convienen que no superen el número de 6 u 8, en especial con maniobra colectiva, y la disposición más práctica es la línea de 3 y como máximo 4 ascensores abarcables en conjunto por el usuario.

Para poder calcular el número de densidad de aparatos elevadores, debemos conocer algunos datos previos como:

- ❖ Número de plantas del edificio, número de paradas y altura total de transporte.
- ❖ Superficie de plantas y ocupación (en muchos casos 1 usuario/10m².)
- ❖ Uso del edificio, horas pico, situación, zonas concurridas.

3.5.2.2 Calculo de ascensores destinados a edificios de oficinas, hoteles y hospitales

Los ascensores en edificios de oficinas deben responder a tiempos de tráfico muy pronunciados sobre todo en horas de entrada y salida de la población del edificio. Durante las horas restantes también debe existir un servicio racional del transporte vertical según la demanda del tráfico.

Se debe tener un servicio eficaz de transporte entre la planta de embarque (normalmente planta baja) y las plantas servidas en las horas pico de tráfico ascendente. Debe asegurarse así mismo a las horas de salida un servicio correcto en descenso desde todos los puntos atendidos, teniendo un tiempo de espera en las plantas, aceptable para las exigencias de los usuarios.

El conjunto de estas exigencias viene en mayor a menor grado definido como 'calidad de servicio'. El nivel de calidad conseguido se define fundamentalmente por el tiempo de espera entre camerines o intervalo máximo probable.

Bajo normativa se permite establecer la estimación preliminar del número de aparatos elevadores adecuado con mucha aproximación. Las consideraciones y datos indicados están basadas en que el edificio reúna las siguientes condiciones:

- ❖ Los ascensores deben estar dotados de una maniobra colectiva automática en grupo.
- ❖ Se considera solamente una planta (normalmente baja) como piso principal de afluencia de tráfico elevado.
- ❖ Las distancias entre pisos no debe ser mayor a los 3.5 m de altura.

Si las características del edificio defieren de estas condiciones de recomienda un estudio analítico adecuado.

3.5.2.3 Determinación de la carga nominal

1.- Capacidad de transporte en personas/minuto, que se establece mediante la siguiente expresión:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$\frac{\# \text{ de personas a transportar}}{\text{tiempo de llenado}}$$

El # de personas a transportar se establece fácilmente según las características del edificio.

El tiempo de llenado se establece por medio de la siguiente tabla:

Tiempo de llenado	Rendimiento
14-16 minutos	Muy bueno
16-21 minutos	Bueno
Más de 21 minutos	Dudoso

Tabla 3.2 Edificio ocupado por una sola firma con horas de trabajo uniforme

Tiempo de llenado	Rendimiento
25-30 minutos	Muy bueno
30-40 minutos	Bueno
Más de 40 minutos	Dudoso

Tabla 3.3 Edificio ocupado por diferentes firmas con horas de trabajo diferentes

2.- El intervalo en segundos es el tiempo promedio entre la salida consecutiva de 2 camerines (de uno a otro) desde la planta baja. Es un dato importante, ya que si se eligen demasiado largos se presentan aglomeraciones de personas en planta baja.

Valores de referencia para estos intervalos de salida pueden ser:

Tiempo de llenado	Rendimiento
25 a 35 segundos	Muy bueno
35 a 45 segundos	Bueno
45 a 65 segundos	Dudoso

Tabla 3.4 Tiempo de salida entre uno y otro ascensor

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Para determinar la velocidad recomendable puede servir como referencia el tiempo teórico del ascenso mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Recorrido total en metros}}{\text{Velocidad en m/s}}$$

El resultado debe estar entre 20 segundos considerado muy bueno y 30 segundos bueno.

Los cuartos de máquinas y poleas serán cuartos especiales situados preferentemente encima del recinto, la altura será de 2m para el cuarto de máquinas y 1.50m para el de poleas, la iluminación de estos cuartos será con un nivel mínimo de 50lux mediante una toma independiente a la toma de alimentación de la maquinaria.

CARACTERÍSTICAS				
	Carga kg	N.º de personas	Velocidad m/s	Potencia kW
Ascensor	400	5	0,63	4,5
Ascensor	400	5	1	7,5
Ascensor	630	8	1	11,5
Ascensor	1000	8	1,6	18,5
Ascensor	1000	13	1,6	29,5
Ascensor	1000	13	2,5	49

Tabla 5.5 Potencia de motores para algunas cargas de elevadores

3.5.2.4 Accionamiento de ascensores

Los elevadores se accionan por medio de un motor eléctrico y disponen, además, de un torno, acoplamiento, polea motriz y freno electromecánico de zapatas. En casa de velocidades superiores a 1.8m/s, no se utiliza el torno elevador que consiste en un tornillo sin fin. El accionamiento de un elevador posee también una máquina sin engranajes, consiste en una unidad formada por un motor de C.C. en derivación de baja velocidad, un freno electromecánico de zapatas y una polea motriz.

Las exigencias de precisión en la parada, parada suave, duración y conservación de los frenos, determinan el tipo de motor de accionamiento a emplear.

En caso de capacidades mayores a 3000Kp ($1\text{Kp}=9.80665\text{N}$), y de velocidades medias, así como para elevadores con velocidades mayores de 1.3m/s, es preferible utilizar motores de corriente continua en derivación con convertidor Leonard.

Para capacidades de carga y velocidades pequeñas y medias es muy apropiado el uso de motores asíncronos trifásicos diseñados de modo que, al aumentar la velocidad, actúen como motores trifásicos de polos conmutables con relaciones entre número de polos de 1:3 a 1:6.

3.5.2.5 Consumo de potencia.

Los elevadores suspendidos por cables se construyen de modo que el peso de la cabina y la mitad de la carga nominal útil estén compensados por un contrapeso. Según la carga que soporte la cabina, el motor está sometido a diversos esfuerzos, pudiendo funcionar en régimen de generador y de motor.

El esfuerzo instantáneo se determina mediante el momento de aceleración. En primera aproximación, el par de arranque es de 2 a 2.2 veces el momento de avance en plena carga.

Con motores de C.C, la carga de la red es función de la corriente de conexión del convertidor, de la corriente de arranque y del valor eficaz de las diversas corrientes en un movimiento del elevador. En general, los mandos se instalan de manera que, durante el servicio diurno, los convertidores permanezcan continuamente en funcionamiento y se desconecten en los momentos de tráfico más débil. Normalmente el arranque del convertidor se efectúa en conexión estrella-delta, con el fin de reducir la corriente de cierre.

La frecuencia de maniobra de los motores de C.C es del orden de 180 a 240 operaciones por hora. Para el cálculo de la carga térmica debe tenerse en cuenta la potencia efectiva indicada en la placa de características.

3.5.2.6 Mando de los ascensores.

Los mandos de los ascensores pueden ser aisladamente o con mandos en que la orden de movimiento se almacena y se ejecuta según un sistema determinado.

Suele existir un mando colectivo común para cada grupo de elevadores adyacentes; este mando almacena las órdenes de movimiento para todos los ascensores, las ordena automáticamente y las pasa al ascensor correspondiente.

Los ascensores se mandan principalmente con relés. En consideración a la seguridad del servicio y para evitar averías, es conveniente utilizar una tensión de mando alta, de hasta 220V en C.A.

3.5.3 Sistema de Aire Acondicionado

Las instalaciones de acondicionamiento de aire se pueden dividir en:

- ❖ **Instalaciones de calefacción.-** Cuando satisfacen las condiciones de bienestar en la época invernal.
- ❖ **Instalaciones de ventilación.-** Cuando satisface condiciones de filtrado, circulación del aire y la ventilación del local durante todo el año.
- ❖ **Instalaciones de aire acondicionado.-** Cuando satisface las condiciones de bienestar todo el año.

En este proyecto nos centraremos en las instalaciones de aire acondicionado.

3.5.3.1 Instalaciones de aire acondicionado

Podemos entender como instalaciones de aire acondicionado aquella que es capaz de mantener con un cierto grado de automaticidad, sin ruidos molestos, a lo largo de todo el año y en todos los ambientes acondicionados: *las condiciones de temperatura y humedad relativa deseadas*, asegurando, además, la pureza en el aire del ambiente y manteniendo

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

simultáneamente la velocidad del aire adecuada en las zonas ocupadas para proporcionar un máximo confort a los ocupantes.

El sistema de aire acondicionado debe ser capaz de brindar:

1) Calefacción		Condiciones higrotérmicas adecuadas en invierno
2) Humectación		Condiciones higrotérmicas adecuadas en verano
3) Refrigeración		Condiciones higrotérmicas adecuadas en verano
4) Deshumectación		Condiciones higrotérmicas adecuadas en invierno
5) Filtrado		Condiciones de salubridad durante todo el año
6) Circulación de aire		Condiciones de salubridad durante todo el año
7) Ventilación		Condiciones de salubridad durante todo el año

Calefacción: Donde implica aumentar la temperatura para conseguir mejorar la condición de permanencia. En invierno si se calienta el aire sin agregarle humedad, la humedad relativa disminuye, lo que provoca un resecaimiento en las mucosas de las vías respiratorias.

Humidificación: Luego de calentar el aire, si es necesario, se lo pasa a través de un humidificador, ya que el aire más caliente tiene la propiedad de absorber más cantidad de agua.

Refrigeración: Refrigerar un local implica disminuir su temperatura para conseguir mejorar la condición de permanencia.

Deshumidificación: Es necesario, ya que al enfriar el aire, en la serpentina enfriadora se produce condensación del vapor que contiene el aire que la atraviesa.

Filtrado: Consiste en purificar el aire mediante filtros que permitan quitarle las impurezas en forma fisicoquímica para cumplir con una de las condiciones de aire saludable.

Circulación: Es necesaria para evitar estancamiento del aire, además debe de realizarse sin producir corrientes molestas.

Ventilación: Es la función más importante para la salubridad de los ocupantes. Como resultado del proceso respiratorio, se consume oxígeno y se exhala dióxido de carbono, por lo que es necesario suministrar aire nuevo en los locales para evitar que se produzca un vaciamiento y que se alberguen olores en el local.

3.5.3.2 Cálculo del tamaño del aire acondicionado

Para determinar el tamaño del aire acondicionado (en toneladas) del servicio de aire acondicionado para servir a un local, se puede aplicar un método simplificado que consiste en lo siguiente:

- ❖ Calcular el área del local por servir, expresándola en metros cuadrados (m^2).
- ❖ Dividir el área calculada entre $37m^2$ /tonelada, esto permite obtener el tamaño de la unidad de aire acondicionado en toneladas.
- ❖ Se considera una demanda de 6 amperes por tonelada, de manera que, el número de toneladas se multiplicara por 6. Este cálculo permite calcular la corriente que demanda la unidad de aire acondicionado alimentado de forma monofásica.
- ❖ Cada tonelada puede ser representada por 1.9KW de potencia, con esta conversión podemos obtener la potencia que utilizara nuestro aire acondicionado.

3.6 Cálculo de los sistemas secundarios para nuestro edificio.

3.6.1 Cálculo de la potencia del sistema de fuerza e iluminación del edificio a usuarios.

Se estima que por cada piso (a excepción de planta baja y estacionamiento), tenemos un total de 120 usuarios, así que:

1pc.- 300 watts

120pc.- 36kw

Potencia total de fuerza en usuarios: $36kw \cdot (8) = 288kw$.

Potencia total de otros contactos: $8 \cdot (12) = 96$ $(250) = 24kw$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Potencia total de fuerza del edificio= (288+24) kw=312kw

Potencia por piso = 312kw/8=39kw

Utilizaremos un tablero de distribución de 24 interruptores termo-magnéticos (en el capítulo 4 se explicara más sobre interruptores), cada uno de estos interruptores tendrá 6 usuarios conectados.

Calcularemos la corriente que utilice cada interruptor para después calcular el conductor de fuerza.

6 (300)= 1800watts

$$i = \frac{1800}{127} = 14.17amp$$

Conductores de distribución del tablero de distribución a usuarios, tomando como referencia a los usuarios más lejanos, que están a una longitud aproximada de 40m.

$$S = \frac{4(40)(20)}{127 (3)} = 8.39mm^2$$

De acuerdo a la tabla de conductores de la **NOM-001-2005** el calibre a utilizar será el #8, y ya que son más de 3 conductores de fase el conductor neutro será de calibre #6.

Ahora calcularemos los conductores del sistema de iluminación.

28 lámparas x interruptor bifásico

28 (40)=1120 watts

$$i = \frac{1120}{220} = 5.09amp$$

$$S = \frac{2 (40)(8.81)}{127 (3)} = 1.85mm^2$$

Esto nos indica que se utilizara un calibre 12 para el sistema de iluminación y un calibre para el neutro.

3.6.2 Calculo de los conductores del tablero principal a los de distribución de los sistemas de fuerza e iluminación.

El cálculo de estos conductores es vital para el sistema, ya que dependiendo de cada piso la longitud varia y esto hace que nuestros conductores aumenten, a continuación calcularemos el piso 7 para reflejar lo dicho:

Iluminación

Potencia por piso=13.6kw

$$i^3 \phi = \frac{13600}{220(.9)\sqrt{3}} = 39.6559amp$$

$$S = \frac{2(50)(39.6559)\sqrt{3}}{220 (3)} = 10.4069mm^2$$

Bajo a este valor el calibre de los conductores para el piso 7 será de calibre #6 y el neutro será del calibre #4, esto se aplicara para los siguientes pisos.

Fuerza

Potencia por piso= 38.8kw

$$i^3 \phi = \frac{38800}{220 (.9)\sqrt{3}} = 113.136amp$$

$$S = \frac{2 (50)(113.136)\sqrt{3}}{220 (3)} = 29.69mm^2$$

El valor de los conductores será de calibre #2 y el neutro será del calibre #1

Iluminación

Fuerza

piso	mm ²	calibre	mm ²	calibre
7	10.406	6	29.69	2
6	8.94	6	25.534	2
5	7.493	8	21.818	3
4	6.036	8	17.220	4
3	-----	8	13.063	4
2	-----	8	-----	4
1	-----	8	-----	4
Pb	-----	8	-----	4
Sótano	-----	8	-----	4

Tabla 3.5 Valores de los conductores de fase por piso.

3.6.3 Calculo de tubería de tablero y usuario.

Iluminación

Como calculamos anteriormente, el calibre de los conductores de fase es del #12 (3.307mm²) y el conductor neutro del calibre #10 (5.260mm²).

$$24 (3.307\text{mm}^2)+5.260\text{mm}^2= 84.628\text{mm}^2$$

Como sabemos bajo normativa el área que pueden ocupar estos conductores es del 40% del área interior de la tubería, así que:

$$A = \frac{84.628 (60)}{40} = 126.942\text{mm}^2$$

$$A_t=84.628+126.942\text{mm}^2$$

Fuerza

El calibre de los conductores de fase es del calibre #8(8.367mm²) y para el conductor neutro el calibre es del #6(13.3mm²).

$$24 (8.367\text{mm}^2)+13.3\text{mm}^2=214.108\text{mm}^2$$

$$A = \frac{214.108 (60)}{40} = 321.162\text{mm}^2$$

$$A_t=214.108+321.162=537.27\text{mm}^2$$

3.6.4 Calculo de la potencia de los elevadores y del calibre de cables a utilizar

Basándonos en la **tabla 5.5** determinamos la potencia que se utilizara en el sistema de elevadores, se estimaran un total de 5 elevadores para el edificio.

Potencia por elevador= 29.5kw

Potencia total del sistema de elevadores=147.5kw

$$I_{xelev.} = \frac{29500}{220 (.9)\sqrt{3}} = 86.02\text{amp}$$

$$S = \frac{50(2)(86.02)\sqrt{3}}{220 (3)} = 22.57\text{mm}^2$$

Bajo la tabla de conductores el calibre que corresponde a los conductores de fase es de #3, pero para fines prácticos se utilizara el calibre #2 y el conductor neutro será del #1.

3.6.5 Calculo de la potencia de los aires acondicionados y del calibre del cable a utilizar.

Para este estudio solamente consideraremos la potencia y el número de aire acondicionados a utilizar, ya que el sótano no alberga personas, en esta zona no habrá un aire acondicionada.

Primero determinaremos las toneladas del aire acondicionado:

Como vimos en el capítulo 2, el área por piso es de 1828m² así que:

$$\text{Toneladas} = \frac{1838}{37} = 49.7 \text{ ton}$$

Para forma óptima se destinaran 6 unidades de 8 toneladas por piso.

$$\text{Potencia de aire acond. por piso} = 48(1.9) = 91.2KW$$

La potencia total seria de:

$$\text{Pot. total aire cond.} = 91.2 (8) = 729.6KW$$

Donde por cuestiones de diseño, los aparatos de aire acondicionado serán bifásicos, por lo tanto la corriente será la siguiente (considerando un f.p. de 0.9)

$$I_{\text{aire acondicionado}} = \frac{15200}{220(0.9)} = 76.8amp$$

Considerando esto, el tablero de aire acondicionado tendrá espacio para 6 interruptores bifásicos de 100A.

$$S = \frac{20(2)(76.8)\sqrt{3}}{220 (3)} = 8.06mm^2$$

El conductor que se utilizara para cada aire acondicionado será del calibre #8, tomando en cuenta que una longitud máxima del conductor es de 20m.

4 Tableros e interruptores para el edificio.

4.1 Tableros

Se entiende por tablero a un gabinete metálico donde se colocan instrumentos, interruptores, arrancadores y los dispositivos de control. El tablero es un elemento auxiliar (en algunos casos obligatorio) para lograr una instalación segura, confiable y ordenada.

4.1.1 Tablero general

El tablero general es aquel que se coloca inmediatamente después del transformador y que contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del interruptor y la salida de éste se conecta a barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados.

4.1.2 Tableros de distribución

Cada área de la instalación está normalmente alimentada por uno o varios tableros derivados. Estos tableros pueden tener un interruptor general dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y el número de circuitos que alimente. Contiene una barra de cobre para el neutro y 1,2 o 3 barras conectadas a las fases respectivas (directamente o a través del interruptor general).

Normalmente a las barras de las fases se conectan interruptores termo-magnéticos de 1.2 o 3 polos, dependiendo del número de fases que se requieran para alimentar los circuitos derivados. Estos últimos a su vez se alimentan:

- ❖ Unidades de alumbrado
- ❖ Salidas para contactos (fuerza)
- ❖ Equipos especiales (que a su vez pueden estar provistos con dispositivos de arranque y protección).

4.2 Interruptores

Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión y conexión, y si está previsto de los dispositivos necesarios, también puede cubrir la función de protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos.

4.2.1 Interruptor general

Se le denomina interruptor general o principal al que va colocado entre la acometida (después del equipo de medición) y el resto de la instalación, se utiliza como medio de desconexión y protección del sistema o red suministradora.

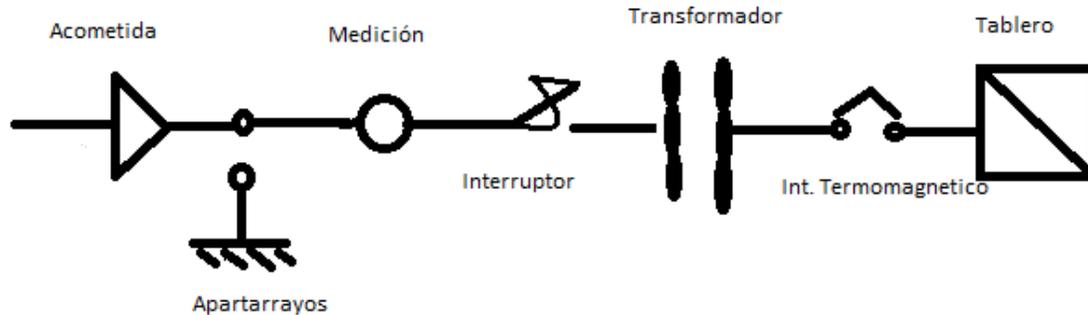


Imagen 4.1 Diagrama unifilar desde línea acometida hasta el tablero general.

Este interruptor debe ser de fácil acceso y operación, de tal forma que en caso de emergencia permita desenergizar la instalación rápidamente, debe proteger a toda la instalación y a su equipo, por lo que debe ser capaz de interrumpir las corrientes de corto circuito que pudieran ocurrir en la instalación del consumidor.

Dependiendo del tipo de instalación, el interruptor general o principal puede ser alguno de los siguientes dispositivos:

- ❖ Caja con cuchillas y fusibles
- ❖ Interruptor termo-magnético
- ❖ Cortacircuitos o interruptor de potencia (en aire, al vacío, en algún gas o en aceite).

4.2.2 Interruptor derivado

Los interruptores eléctricos llamados derivados son aquéllos que están colocados para proteger y desconectar alimentadores de circuitos que distribuyen la energía eléctrica a otras secciones de la instalación a que energizan a otros tableros.

4.2.3 Interruptor termo-magnético

Uno de los interruptores más utilizados y que sirve para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortocircuitos es el termo-magnético. Se fabrica en gran variedad de tamaños, por lo que su aplicación puede ser como interruptor principal o derivado. Su diseño le permite soportar un gran número de operaciones de conexión y desconexión, lo que lo hace muy útil en el control manual de una instalación. Tiene un elemento electro-dinámico con el que se puede responder más rápidamente ante la presencia de un cortocircuito. Para la protección contra sobrecarga se vale de un elemento bimetálico.

4.3 Corriente de corto-circuito

4.3.1 Corriente máxima de corto-circuito

La corriente máxima de corto-circuito prevista en el lugar de la instalación de los equipos eléctricos es determinante para seleccionar los aparatos de maniobra y los armarios o tableros de distribución en lo referente a:

- ❖ Resistencia a corto-circuito
- ❖ Capacidad de ruptura
- ❖ Protección de selectiva o “back-up” (cuando sea necesario)

La corriente de corto-circuito entre fase y el conductor de protección, con una impedancia insignificante, es determinante para las medidas de protección contra contacto indirecto según la norma **DIN-VDE 0100**.

Los conceptos relativos a corto-circuito se definen en las diversas **DIN-VDE** para calcular las corrientes de corto-circuito en instalaciones y redes con tensiones nominales hasta de 1000V (**DIN-VDE 102**).

Durante un servicio nominal, circula por los conductores una corriente nominal I_n , determinada por una tensión nominal de la red V_n y en la suma de las impedancias de la red Z_r y de la carga Z_c . En caso de corto-circuito, se anula la impedancia de carga Z_c . Por lo tanto la corriente de corto-circuito queda determinada por la tensión nominal de servicio V_n , La impedancia de la red Z_r y la impedancia o resistencia en el punto de corto-circuito.

Corriente nominal de servicio

$$I_n = \frac{V_n}{(Z_r + Z_c)\sqrt{3}}$$

Corriente permanente de corto-circuito

$$I_k = \frac{V_n}{Z_r\sqrt{3}}$$

4.3.2 Fenómenos transitorios

Cuando ocurre un corto-circuito, la red pasa del estado de servicio al estado de corto-circuito. Con exclusión del caso excepcional de que el corto-circuito se inicie exactamente cuando la corriente pasa por 0, el corto-circuito se produce, como toda conexión eléctrica, a través de fenómenos transitorios.

Para calcular las corrientes de corto-circuito tienen importancia los conceptos siguientes:

- ❖ Corriente inicial alterna de corto-circuito I_k'' , también denominada corriente inicial sub-transitoria de corto-circuito.

Es el valor eficaz de la componente de corriente alterna en el momento de iniciarse el corto-circuito. En un corto-circuito distante del generador, el valor de la corriente inicial alterna del corto-circuito permanece casi constante durante casi todo el corto-circuito. Este es el caso normal en las redes de baja tensión. Por lo tanto, puede decirse, que en estas redes, el valor de la corriente inicial alterna (sub-transitoria) de corto-circuito I_k'' es casi igual al valor de la corriente permanente de corto-circuito I_k'' , o sea $I_k'' \approx I_k''$.

En comparación, en los corto-circuitos cercanos al generador, la corriente inicial alterna de corto-circuito I_k'' es mayor que la corriente permanente de corto-circuito I_k'' y luego se reduce. Para calcular la corriente I_k'' se necesitan, además de la impedancias activas de la red, las reactancias iniciales X_d'' (reactancias longitudinales sub-transitorias) de la máquina sincrónica que alimentan el corto-circuito.

- ❖ Corriente de choque (i_p), también denominada corriente máxima asimétrica de corto-circuito, es el valor máximo de cresta de la corriente de corto-circuito.

Esta corriente se presenta cuando el corto-circuito ocurre al paso por cero de la tensión, su valor es:

EL factor κ es el cociente entre la corriente de choque i_p y el valor de la cresta de la corriente de corto-circuito permanente. Su valor depende a su vez de la relación resistencia (R) y la reactancia (X) del circuito en corto-circuito (R/X), es decir del f.p ($\cos \theta$) del circuito del corto-circuito. El factor κ se puede calcular numéricamente con la fórmula siguiente:

4.3.3 Factor de potencia ($\cos \theta$) del circuito en corto-circuito

En las instalaciones de baja tensión, el f.p de un circuito en corto-circuito depende principalmente de la reactancia del transformador de alimentación. Mientras más elevada sea su potencia, mayor será la parte inductiva de su impedancia y, por lo tanto, menor será el f.p.

4.3.4 Clases de corto-circuito

En la red trifásica pueden ocurrir 3 clases de corto-circuitos:

- ❖ Entre las 3 fases, denominado corto-circuito tripolar.
- ❖ Entre 2 fases, denominado corto-circuito bipolar.
- ❖ Entre una fase y el conductor neutro o tierra, denominado corto-circuito unipolar o a tierra.

4.3.4.1 Corto-circuito tripolar alejado del generador, con alimentación sencilla

Para la corriente inicial alterna de corto-circuito su tiene la siguiente expresión:

C.- Factor para determinar la tensión

$$Ik'' = \frac{c(Vn)}{zk\sqrt{3}} \quad \text{dónde:} \quad \text{equivalente que alimenta al corto-circuito.}$$

Vn.- Tensión nominal de la red.

Para calcular la corriente máxima de corto-circuito se emplean los siguientes valores:

- ❖ Cmax.- 1.0 para 230/400V y 1.05 para las demás tensiones.
- ❖ Rk.- Suma de las resistencias efectivas conectadas en serie por fase (valor de Rl de los conductores a una temperatura de 20°C)
- ❖ Xk.- Suma de las reactancias conectadas en serie por fase.

Corriente de choque:

$$ip = \kappa(\sqrt{2})Ik''$$

4.3.4.2 Corto-circuito bipolar, distante al generador, con alimentación sencilla.

Corriente inicial alterna de cortocircuito Ik''^2

$$Ik''^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} Ik''$$

Para calcular la corriente mínima de corto-circuito se emplea lo siguiente:

- ❖ C_{min} .- 0.95 para 230/400V o 1.0 para las demás tensiones, siempre y cuando en otras **DIN** no se exijan valores menores, así como R_l para una temperatura del conductor de 80°C.

Corriente de choque i_{p2} :

$$i_{p2} = \kappa(\sqrt{2})I_k''2$$

4.3.4.3 Corto-circuito unipolar a tierra, distante del generador, con alimentación sencilla

Para los transformadores del grupo de conexión Dy, Dz, Yy e Yz, cuyo punto de estrella sólo está puesto a tierra en el lado de baja tensión, la corriente de corto-circuito unipolar a tierra se calcula con la siguiente expresión:

$$I_k''1 = \frac{C(\sqrt{3})V_n}{\sqrt{(2R_{Qt} + 2R_T + R_l + R_{0T} + R_{0l})^2 + (2X_{Qt} + 2X_T + 2X_l + X_{0T} + X_{0l})^2}}$$

Dónde:

$I_k''1$.- Corriente inicial alterna de corto-circuito unipolar

C.- Factor para determinar la tensión equivalente que alimenta al corto-circuito

V_n .- Tensión nominal de la red

R_{0T} .- Resistencia efectiva homopolar del transformador

R_{0l} .- Resistencia efectiva homopolar de los conductores

X_{0T} .- Reactancia homopolar del transformador

Para calcular la corriente máxima de corto-circuito se utiliza:

- ❖ C_{max} .- 1.0 para 230/400V y 1.05 para las demás tensiones
- ❖ R_l , R_{0l} , para una temperatura de conductor de 20°C

Para calcular la corriente mínima de corto-circuito se utiliza:

- ❖ C_{min} .- 0.95 para 230/400V o 1.0 para las demás tensiones, siempre y cuando en otra normas **DIN** no se elijan valores menores, así como R_l para una temperatura del conductor de 80°C.

La fórmula de $I_k''1$ no tiene validez para transformadores del tipo de conexión Yy con el punto estrella del primario y de secundario puestos a tierra, ni cuando se emplean transformadores formadores de neutro; en este caso, debe realizarse el cálculo según la norma **DIN-VDE-0102** con el método de las componentes simétricas.

4.3.5 Efectos de la corriente de corto-circuito

La corriente de corto-circuito somete a los componentes de las instalaciones eléctricas a esfuerzos térmicos y dinámicos.

4.3.5.1 Esfuerzos dinámicos

Cuando una corriente circula por 2 conductores paralelos, éstos se atraen o se repelen, según si a través de ellos la corriente circula en el mismo sentido o en contra. La fuerza F que actúa entre 2 conductores largos, paralelos, rígidos a la flexión dada en una primera aproximación por la siguiente expresión:

$$F = 0.2i_1(i_2) \frac{l}{a}$$

Dónde:

F .- Fuerza en Newton (N)

i_1, i_2 .- Valor instantáneo de la corriente que circula a través de los conductores (en kA)

l .- Longitud del conductor entre apoyos (en mm)

a .- Distancia entre los centros de los conductores (barras colectoras), en mm.

El valor de la fuerza que actúa entre conductores paralelos, en función de la corriente de choque i_{p2} y de la distancia a entre los conductores como parámetro, se calcula para corto-circuitos entre 2 fases, de la siguiente forma para conductores paralelos, rígidos a la flexión y con varias barras por fase:

$$F = 0.2 \left(\frac{i_{p2}}{n} \right)^2 \frac{l}{a}$$

Dónde:

F.- Fuerza en cada conductor parcial en N

ip.- Corriente de corto-circuito (en instalaciones trifásicas ip3) en k¹A

l.- Distancia entre puntos de fijación, en mm

n.- Número de conductores parciales en paralelo

as.- Distancia efectiva entre conductores parciales, en mm

4.4 Calculo de interruptores y de corto-circuito

Como vimos en el capítulo anterior, tenemos un valor muy aproximado de los interruptores para los distintos sistemas, sin embargo, para calcular el valor real del interruptor tenemos que utilizar la fórmula de la corriente de diseño.

$$I_d = 1.25 (I_1) + I_2 + I_3$$

Iluminación:

$$I_d = 1.25 (.19) + 27 (.19) = 5.37 \text{ A}$$

De esta manera comprobamos que cada interruptor bifásico a 10A esta adecuadamente bien calculado, y tenemos la certeza de que si queremos conectar equipos adicionales a estos interruptores no tendremos un problema con el interruptor.

Fuerza:

$$I_d = 1.25 (2.36) + 5(2.36) = 14.75 \text{ A}$$

Como vemos, el interruptor de 20A es el más óptimo, ya que no queda tan al margen la corriente que consumen los usuarios.

Elevador:

Cada elevador tendrá un interruptor independiente, como podemos ver en el capítulo 3 cada elevador consume 89 A, ahora veremos de que capacidad debe ser el interruptor trifásico a utilizar para estos equipos.

$$I_d = 1.25 (89.02) = 111.275 \text{ A}$$

Como podemos apreciar la corriente es muy alta, por lo cual es más recomendable utilizar un interruptor de seguridad, a una corriente nominal de 300A o 400A, ya que los

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

elevadores utilizan motores, hay que considerar la corriente de arranque, que es unas 3 veces mayor a la corriente nominal.

La corriente de cortocircuito la veremos en el capítulo 5, ya que ahí determinaremos la corriente de cortocircuito en la sub-estación y con este dato sabremos el valor para los interruptores de distribución para dicha corriente.

La protección para cada aparato de aire acondicionado será similar a la de los elevadores, con la única diferencia que el sistema de aire acondicionado será bifásico.

5 Diseño de la Subestación del edificio.

5.1 Generalidades

La plantación de un sistema, se puede dividir en 2 partes que son:

- Diseño Conceptual
- Diseño de detalle

El diseño conceptual en los sistemas eléctricos de potencia, se pueden establecer como la armoniosa integración de varios aspectos discretos, pero que compiten en el diseño del sistema para satisfacer los requerimientos u objetivos operacionales en forma económica, Esta etapa en cualquier proyecto, es la más crucial en la cadena de los aspectos que llevan a la operación comercial de los sistemas eléctricos de potencia, ya que puede determinar el éxito o falla del sistema.

En el caso del diseño de subestaciones eléctricas, la ingeniería básica o diseño conceptual deben estar familiarizados con los estudios de cortocircuito del sistema, la protección y la coordinación de los dispositivos de protección, los estudios de flujo de carga, los estudios de estabilidad dinámica y de estado estacionario. También para el diseño de subestaciones de tipo industrial, se deben tener conocimientos elementales de las necesidades de distintos tipos de cargas y procesos, tales como las que se tienen en las industrias; Papelera, Metalúrgica, Sementera, Petrolera, etc. En este tipo de industrias o procesos, significa que se debe tener conocimiento de los requerimientos de cargas especiales, tales como:

- Convertidores estáticos de VAR's
- Accionamiento de velocidad ajustable
- Soldadura por resistencia
- Accionamiento para grandes motores
- Hornos de arco eléctrico, etc.

Los 3 aspectos claves para el diseño conceptual son:

- Requerimientos del diseño

- Criterios del diseño
- Aspectos del diseño

5.1.1 Requerimientos del diseño

En primer lugar, antes que nada, se deben establecer los objetivos primarios y secundarios para el proyecto del sistema eléctrico, a través de la consulta con ingenieros de proceso, operadores y personal de mantenimiento.

En segundo lugar, una buena comprensión del tipo de carga y su aplicación resulta fundamental para una buena planeación del sistema, se debe tomar también una información completa del comportamiento de la carga para determinar las necesidades de potencia real y reactiva.

Los procesos y requerimientos de las cargas, se pueden determinar examinando procesos existentes o cargas; cuando no se tiene información disponible, entonces lo mejor es tomar la experiencia de cargas similares. Algunas veces es necesario tomar nota de cargas especiales para cierto tipo de subestaciones eléctricas industriales, algunas de estas cargas son las siguientes:

- ❖ Arranque de grandes motores
- ❖ Hornos y arcos
- ❖ Soldadura de resistencia
- ❖ Convertidores estáticos de VAR's
- ❖ Cargas electrónicas sensibles
- ❖ Alto nivel de ruido
- ❖ Cargas con corrientes armónicas
- ❖ Coordinación de la energía eléctrica con otros sistemas de energía.

Como conclusiones del comportamiento de la carga, se pueden establecer los siguientes:

- ❖ Requerimientos del suministro de potencia (carga pico, demanda máxima, factor de diversidad, factor de carga y factor de demanda).
- ❖ Requerimiento de confiabilidad (cargas críticas, esenciales y de propósitos generales).
- ❖ Requerimientos de calidad del suministro de la energía (voltaje constante, depresiones de voltaje, presencia de armónicas, ondas de sobretensión, etc.)

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ Necesidades de seguridad física (subestaciones atendidas o no atendidas, cuartos de motores, etc.)

En 3er. Lugar, se determina la carga total, factor de carga y de demanda, cuya definición es la siguiente:

Carga pico.- Es la máxima carga, ya sea en máximo instantáneo o en máximo promedio en un periodo de tiempo.

Carga promedio.- Es la carga promedio en un periodo de tiempo, que puede ser un día, una semana, un mes o un año.

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Carga Promedio}}{\text{Carga pico}}$$

Carga conectada.- Es la suma de las capacidades nominales de todas las cargas conectadas.

Demanda.- Es la carga eléctrica promediada durante un periodo de tiempo, usualmente se expresa en KW o KVA, promediando el tiempo en periodos de 15, 30 o 1 hora.

Demanda máxima.- La mayor de todas las demandas que ocurren durante un periodo de tiempo específico. El periodo para propósitos de facturación es de 1 mes.

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga conectada}}$$

$$\text{Factor de diversidad} = \frac{\text{kVA demandados}}{\text{kVA instalados}}$$

En 4to. Lugar, se deben considerar las necesidades futuras para el sistema en los próximos 5, 10 o 20 años, tomando en consideración no sólo el crecimiento de la demanda, también posibles cambios en los procesos y la incorporación de accionamientos electrónicos para maquinas eléctricas.

En 5to. Lugar, en particular para las subestaciones o sistemas eléctricos industriales, se debe tomar en cuenta, en ciertos casos, la posibilidad de cogeneración, si existen

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

proyectos de autoabastecimiento o de compra de mayor cantidad de energía a una tarifa diferente. La generación local generalmente incrementa la confiabilidad del sistema eléctrico para cargas locales.

$$Demanda\ pico\ estimada = factor\ de\ demanda(Carga\ total\ conectada)$$

$$Factor\ de\ coincidencia = \frac{1}{Factor\ de\ diversidad}$$

En 6to. Lugar para calcular el valor del transformador, también podemos tomar en cuenta las siguientes expresiones y tablas.

$$kVA\ demandados = KVA\ instalados (Fac.\ de\ demanda)$$

Por consiguiente el valor de la capacidad del transformador será calculado por la siguiente expresión:

$$Cap.\ transformador = kVA\ instalados (fac.\ diversidad) + kVA\ instalados (Fac.\ crecimiento)$$

Normalmente el factor de crecimiento se maneja de un 20 al 25%, ya que con este se toma en cuenta un incremento futuro en las cargas del edificio.

A continuación se agregaran una serie de tablas con algunos factores de demanda según las necesidades, ya sean del propio local o de los equipos instalados.

Servicio de Fac. de demanda	Valor en decimal
Asilos y casas de salud	0.45
Asociaciones civiles	0.4
Casas de huéspedes	0.45
Servicio de edificio residencial	0.40
Estacionamientos o pensiones	0.40
Hospicios y casas de cuna	0.40
Iglesias y templos	0.45
Servicios residenciales sin aire acondicionado	0.40
Servicios residenciales con aire acondicionado	0.55

Tabla 5.1 Factor de Demanda en cargas de servicios habitacionales

Servicio de Fac. de demanda	Valor en decimal
Tiendas y abarrotes	0.65
Agencias de publicidad	0.4
Alfombras, tapetes, almacenes de ropa y bonetería	0.65

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Artículos fotográficos y cafeterías	0.55
Bancos, boticas, farmacias, droguerías y baños públicos	0.50
Centros comerciales y tiendas de descuento	0.65
Colegios, embajadas y consulados	0.40
Dependencias de gobierno	0.50
Gasolineras	0.45

Tabla 5.2 Factor de Demanda en cargas de servicios comerciales

Servicio de Fac. de demanda	Valor en decimal
Hornos de acero de inducción	1.0
Soldadoras de arco y resistencia	0.6
Motores para: bombas, compresores, elevadores, maquinas, herramientas, ventiladores	0.65
Motores para: operaciones semi-continuas en fábricas y plantas de proceso	0.75
Motores para: operaciones continuas tales como fábricas textiles	0.85

Tabla 5.3 Factor de Demanda en equipos de fuerza

5.2 Criterios de diseño

Se requiere un criterio uniforme o estándar para los propósitos de selección del sistema o equipos, así como para comparar distintas alternativas de un proyecto. Es necesario algún criterio básico para que se seleccione un sistema de distribución, se debe hacer sobre bases comunes, algunas de estas consideraciones básicas son:

- ❖ Seguridad
- ❖ Confiabilidad
- ❖ Simplicidad de operación
- ❖ Calidad del voltaje
- ❖ Flexibilidad
- ❖ Costo

5.2.1 Seguridad

La seguridad es una consideración panorámica durante la fase de diseño de detalles, si no se pone demasiada atención a los aspectos de seguridad, entonces el personal puede ser

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

puesto en riesgo durante la operación y mantenimiento del sistema, puede ocurrir también una falla catastrófica del equipo y una falla en el suministro de la energía.

Algunos de las consideraciones básicas que permiten la seguridad son las siguientes:

- ❖ Verificar la adecuada capacidad de los interruptores y dispositivos de desconexión.
- ❖ Los conductores energizados deben estar dentro de canalizaciones (ductos, tubos, conduits, charolas), o bien, colocados correctamente a suficiente altura.
- ❖ Se deben bloquear convenientemente los desconectores sin carga con los interruptores.
- ❖ Se deben desbloquear los desconectores de aislamiento.
- ❖ Se debe mantener desenergizado sólo el equipo que tiene tarjetas de seguridad o candados.
- ❖ Minimizar el acceso a los cuartos con equipo eléctrico y tener las salidas adecuadas.
- ❖ Proteger todos los aparatos eléctricos de posible daño mecánico, dejar las áreas accesibles sólo para operación y mantenimiento.
- ❖ Considerar las áreas peligrosas. En caso necesario usar equipo a prueba de explosión.
- ❖ Colocar señales y letreros de alerta en bordes, compuertas, puertas y conduits.
- ❖ Usar una conexión a tierra adecuada para el sistema eléctrico de potencia y para el equipo.
- ❖ Instalar alumbrado de emergencia para señalar las salidas.
- ❖ Proporcionar las capacidades correctas para el equipo.
- ❖ Entrenar y capacitar al personal de mantenimiento y operación.

5.2.2 Confiabilidad

El requerimiento de confiabilidad para un tipo dado de sistema, se puede lograr por distintos métodos, algunos aspectos a considerar son:

- ❖ Selección de los niveles apropiados de los voltajes de suministro. Los sistemas de distribución de las empresas suministradoras tienen por lo general menor confiabilidad que los sistemas de sub-transmisión o de transmisión.
- ❖ Duplicar las trayectorias de alimentación entre la fuente y la carga proporciona una confiabilidad adicional y permite también mantener en servicio una trayectoria de alimentación, mientras la otra se encuentra en mantenimiento.
- ❖ Sistema de protección adecuado para el sistema y el equipo. Una coordinación de protecciones apropiada de los dispositivos de protección permite hacer selectiva la operación de las protecciones, afectando al menor número de cargas durante una falla.
- ❖ Control y monitoreo con instalación de alarmas apropiadas que informa al personal de mantenimiento de problemas que se presenten, tan pronto como éstas ocurran.
- ❖ Selección apropiada de equipo confiable cuyas capacidades se seleccionan en forma conservadora, proporcionarán servicio por periodos de tiempo más largos, se deben seleccionar para cumplir con un cierto ciclo de trabajo durante su tiempo de vida.

5.2.3 Simplicidad de operación.

Se debe seleccionar un sistema simple, es decir, que sea sencillo de operar, los sistemas diseñados en forma simple pueden proporcionar el servicio que la carga requiere, esto parecería obvio, pero es una consideración muy importante que se debe hacer, ya que los sistemas sencillos son seguros y más confiables.

5.2.4 Calidad de voltaje.

La calidad de voltaje de suministro ha venido a ser en los últimos años una consideración importante, debido al incremento de cargas sensibles. Los conceptos a considerar son los siguientes:

- ❖ Regulación de voltaje
- ❖ Depresiones (Sags) y elevaciones (Swells) de voltaje.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ Control de frecuencia
- ❖ Distorsión de la forma de onda (armónicas)
- ❖ Interferencia electromagnética.
- ❖ Transitorios de voltaje.

5.2.5 Flexibilidad

El sistema se debe diseñar de manera que cuando sea necesario se puede aumentar a cambio sin problema.

5.2.6 Costo

En todas las decisiones de ingeniería, el costo de los sistemas se deben balancear a contra la confiabilidad que los sistemas deben tener.

5.2.7 Requerimiento de diseño

El mantenimiento apropiado es un elemento clave para asegurar la continuidad y la calidad en el servicio de energía, por lo tanto, se deben incorporar todas las provisiones necesarias para tener un mantenimiento efectivo y eficiente.

Algunos aspectos son:

- ❖ Limpieza
- ❖ Control de humedad y polvo
- ❖ Ventilación adecuada
- ❖ Reducción del efecto de corrosión
- ❖ Inspecciones térmicas
- ❖ Inspecciones visuales
- ❖ Pruebas regulares
- ❖ Conservación de registros
- ❖ Aplicación de normas, códigos y recomendaciones del fabricante.

5.3 Aspectos de diseño

Hay 6 aspectos principales que deben ser considerados en el diseño de los sistemas eléctricos de potencia que son:

- ❖ La selección del nivel de tensión
- ❖ El conocimiento del nivel de corto-circuito
- ❖ La forma de aislar las fallas a tierra
- ❖ La liberación rápida de fallas
- ❖ La operación selectiva de la protección
- ❖ La prevención de la operación con fallas monofásicas.

5.3.1 Selección del nivel de tensión

Es un aspecto importante para los aspectos económicos y operacionales de un sistema, a un voltaje más alto se tiene una menor corriente para cualquier carga. En las instalaciones eléctricas de baja y media tensión, el conductor y la caída de voltaje en los alimentadores están directamente relacionados con la corriente a conducir, por ampacidad y caída de voltaje.

A continuación encontrara una tabla para los niveles de tensión usadas en industria y comercial, la relación de voltaje, corrientes y carga.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

VOLTAJE (V)	CORRIENTE	KVA	CARGA 80% KVA
480	200	166	133
	400	333	266
	600	500	400
	800	667	532
	1,200	1,000	800
	1,600	1,330	1,065
	2,000	1,663	1,330
2,400	3,000	2,500	2,000
	4,000	3,325	2,660
	400	1,663	1,330
	800	3,333	2,660
4,160	1,200	5,000	4,000
	2,000	8,313	6,650
	2,000	4,325	3,460
	3,000	8,650	6,920
12,470	2,000	14,410	11,530
	3,000	21,600	17,280
	600	13,720	10,975
	1,200	25,920	20,735
13,200	2,000	43,200	34,560
	3,000	64,700	51,835
	600	13,720	10,975
	1,200	27,435	21,950
13,800	2,000	45,725	36,580
	3,000	68,590	54,870
	600	14,340	11,475
	1,200	28,680	22,950
13,800	2,000	47,800	38,345
	3,000	71,700	57,365

Tabla 5.4 Relación entre voltaje, corriente y KVA de carga

5.3.2 Conocimiento del nivel de corto-circuito

El nivel de corto-circuito y el nivel de tensión en un sistema eléctrico están interrelacionados, un interruptor tiene la misma capacidad interruptiva a cualquier nivel de voltaje, esto es un interruptor diseñado para operar en bajo voltaje tiene la misma capacidad interruptiva en medio voltaje, pero a medida que el voltaje del sistema aumenta, el valor de los KVA que se deben interrumpir aumenta.

5.3.3 Forma de aislar fallas a tierra

Este aspecto de diseño conduce a la protección por relevadores, en primera instancia para las fallas de línea a tierra en un punto del interruptor más cercano a la misma, dado que la mayoría de fallas en los sistemas eléctricos arrancan como una falla de línea a tierra; la

interrupción de tales fallas en forma instantánea (2 a 4 ciclos), da como resultado mínimo daño permanente.

En los sistemas de voltaje medio de 2.4 a 13.8 KV, deben estar conectados a tierra a través de resistencia, para limitar el daño de las fallas a tierra que pueden ocurrir en las maquinas cuyos neutros están sólidamente conectados a tierra en este nivel de voltajes. Con un relevador sensor a tierra (SDGS), las corrientes tan bajas como 15-30 A, se pueden detectar y hacer operar el relevador en forma instantánea.

5.3.4 Liberación rápida de fallas

Para sistemas eléctricos con tensión media del tipo industrial, este rango debe estar entre 8 y 10 ciclos a la frecuencia del sistema, y los interruptores por sistemas de mayor tensión, deben permitir la interrupción de fallas en tiempos que permitan la estabilidad del sistema.

5.3.5 Operación selectiva de la protección.

Se refiere a la conveniencia de minimizar el efecto de las fallas, es decir, hacer selectiva la protección de manera que opere actuando sobre el elemento más cercano a una falla y en ese orden, tratando de desconectar al menor número de elemento.

5.3.6 Prevención de la operación con fallas monofásicas.

Un motor trifásico es eficiente y opera desarrollando el par necesario, en medida que sus 3 devanados estén energizados, si el circuito de alimentación al motor está protegido por fusibles y opera uno de estas, momentáneamente el motor se quedara solamente con 2 fases y se sobreexcita, el par se reduce y la corriente aumenta hasta el punto en que se puede sobrecalentar.

5.3.7 Diagrama unifilar.

Uno de los aspectos fundamentales del diseño conceptual o ingeniería básica es la preparación de un diagrama unifilar preliminar que se usa durante la fase de estudio e incluye los principales componentes del sistema.

Un diagrama unifilar completo debe incluir:

- ❖ Fuentes de alimentación o puntos de conexión a la red, incluyendo valores de voltaje y de corto-circuito.
- ❖ Generadores (en su caso), incluyendo su potencial en KVA o MVA, voltaje, impedancias (síncrona, transitoria, sub-transitoria, secuencia negativa y secuencia 0) y método de conexión a tierra.
- ❖ Tamaño y tipo de todos los conductores, cables, barras, y líneas aéreas.
- ❖ Tamaño de transformadores, voltajes, impedancias, conexiones y métodos de conexión a tierra.
- ❖ Dispositivos de protección (fusibles, relevadores e interruptores).
- ❖ Transformadores de instrumento (potencial y corriente).
- ❖ Apartarrayos y banco de capacitores.
- ❖ Capacitores para mejorar el factor de potencia.
- ❖ Identificación de cargas (en su caso), incluyendo grandes motores eléctricos e impedancias.
- ❖ Tipo de relevadores.
- ❖ Ampliaciones futuras.

A continuación se muestran 2 tablas de los niveles típicos de voltaje en sistemas eléctricos de potencia niveles usados en México:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Transmisión	Sub-transmisión	Distribución	Utilización
800 KV	161 KV	35.5 KV	480 V, 3Φ
765 KV	138 KV	25 KV	440 V, 3Φ
400KV	115KV	23 KV	240 V, 3Φ
365 KV	69KV	13.8 KV	220 V, 3Φ
230 KV		13.2 KV	120/240 V, 1Φ
220 KV		6.6 KV	127 V, 1Φ
		4.16 KV	

Tabla 5.5 Niveles típicos de voltaje (trifásicos) en sistema eléctricos de potencia

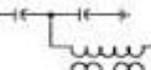
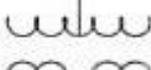
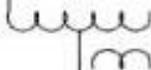
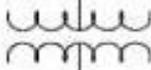
Transmisión	Sub-transmisión	Distribución	Utilización
400 KV	115 KV	34.5 KV	440 V, 3Φ
230 KV	69 KV	23 KV	220 V, 3Φ
		13.8 KV	127 V, 1Φ

Tabla 5.6 Niveles típicos utilizados en la República Mexicana.

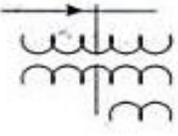
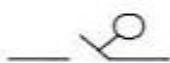
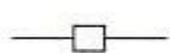
Como podemos observar, estos niveles son los que se utilizan alrededor de la república Mexicana, la red eléctrica en México está interconectada de extremo a extremo, excepción de Baja California, que esta independiente. Dentro de esta interconexión se manejan los 2 voltajes de transmisión indicados en la Tabla 5.3.

La simbología usada en los diagramas unifilares es la que se muestra a continuación:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	ENTRADA DE ALIMENTADOR
	SALIDA DE ALIMENTADOR
	APARTARRAYOS AUTOVALVULAR - AP
	APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC (ZnO) - AP
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA TIPO CAPACITIVO (DISPOSITIVO DE POTENCIAL) - DP
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL TIPO INDUCTIVO - TP
	TRAMPA DE ONDA - TO
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DEVANADO - TC
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TIPO DONA (BOQUILLA) - TC
	AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA
	AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA CON DEVANADO TERCIARIO
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA (DOS DEVANADOS)

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA CON DEVANADO TERCIARIO (TRES DEVANADOS)
	CUCHILLA DESCONECTADORA DE OPERACIÓN MANUAL
	CUCHILLA DESCONECTADORA DE OPERACIÓN MANUAL CON CUCHILLA DE CONEXIÓN A TIERRA
	CUCHILLA DESCONECTADORA DE OPERACIÓN CON MOTOR
	INTERRUPTOR DE POTENCIA
	LÍNEA DE ALIMENTADOR (ACTUAL)
	LÍNEA DE BARRAS (ACTUAL)
	FUTURO O EXISTENTE (EN CASO DE APLICACIÓN)
	BANCO DE CAPACITORES

5.4 Sub-estaciones eléctricas.

Dependiendo del nivel de voltaje, potencia que manejan, objetivo y tipo de servicio que prestan, las sub-estaciones se pueden clasificar como:

- ❖ Sub-estaciones elevadores
- ❖ Sub-estaciones reductoras
- ❖ Sub-estaciones en enlace
- ❖ Sub-estaciones en anillo
- ❖ Sub-estaciones radiales
- ❖ Sub-estaciones de switcheo

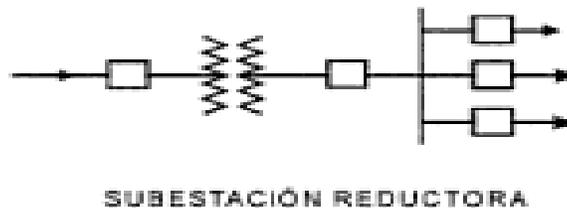
5.4.1 Sub-estación elevadora.

Se usa normalmente en las centrales eléctricas, cuando se trata de elevar los voltajes de generación a valores de voltaje de transmisión.



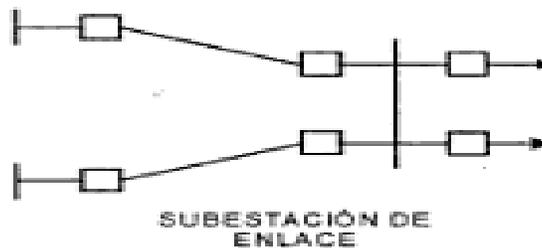
5.4.2 Sub-estación Reductora

En este caso, los niveles de voltaje de transmisión se reducen a la siguiente designación (sub-transmisión), y de sub-transmisión a distribución o eventualmente a utilización.



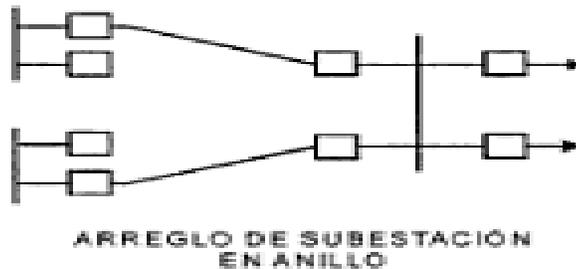
5.4.3 Sub-estación de enlace

En los sistemas eléctricos se requiere tener mayor flexibilidad de operación para incrementar la continuidad del servicio y consecutivamente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de las llamadas sub-estaciones de enlace.



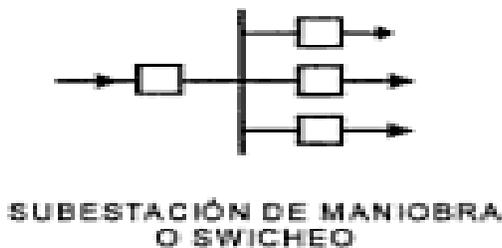
5.4.4 Sub-estación en anillo

Se usa con frecuencia en sistemas de distribución para interconectar sub-estaciones que están a su vez interconectadas con otras.



5.4.5 Sub-estación de switcheo

En estas no se tienen transporte de potencia, ya que no se requiere modificar el nivel de voltaje y solo se realizan operaciones de conexión y desconexión. (Maniobra o Switcheo).



5.4.6 Sub-estación Radial

Cuando una sub-estación tiene solamente 1 punto de alimentación y no se interconecta con otras, se denomina Radial.



5.5 Arreglo de Barras en sub-estaciones

Las sub-estaciones eléctricas en transmisión y distribución se diseñan también para tener, en la medida de lo posible, una máxima confiabilidad y flexibilidad de operación. La facilidad para switchear o desconectar equipos y sacarlos de servicio para salidas programadas o no programadas, manteniéndolo en operación, es esencial para la operación confiable de los sistemas.

Existen varios arreglos de barras para las sub-estaciones, que son usados para satisfacer los requerimientos de una operación confiable y flexible del sistema.

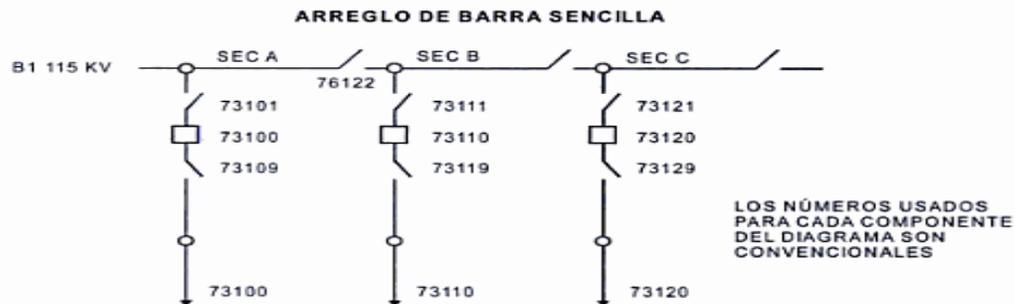
La selección de un arreglo de barras en particular requiere de un estudio previo donde se determinen: Los requerimientos de la demanda de energía, las ampliaciones del sistema y la afectación que esto puede tener, la flexibilidad y facilidad para el mantenimiento, así como los costos de los equipos asociados que intervienen en cada tipo de arreglo de barras.

Los arreglos de barras más comunes son los que se indican a continuación, en orden de complejidad y costo.

- ❖ Barra simple o sencilla
- ❖ Barra seccionada
- ❖ Barra principal y barra de interconexión
- ❖ Barra principal y barra de transferencia
- ❖ Barra principal y barra auxiliar
- ❖ Barra principal, barra auxiliar y barra de transferencia
- ❖ Interruptor y medio
- ❖ Doble barra, doble interruptor

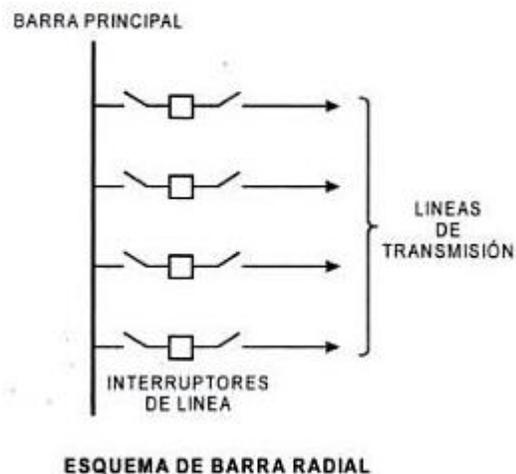
5.5.1 Barra simple o sencilla

Son sub-estaciones que cuentan solamente con una barra para cada tensión, por lo que no ofrece mayor grado de flexibilidad, ya que una falla en barras produce la salida total, por lo que se procura que tenga la capacidad de poder ser seleccionadas por medio de cuchillas. El mantenimiento en ellas se dificulta al no poder transferir el equipo. Son utilizadas en sub-estaciones de baja capacidad o tipo de industrias pequeñas.



5.5.2 Arreglo de barra Radial.

Este arreglo es el más económico en términos de requerimiento de equipos. Solamente se cuenta con un interruptor por cada terminación de línea, sin ninguna previsión para alimentar alguna otra línea de otra barra dentro de la sub-estación; por lo tanto la configuración radial ofrece la menor flexibilidad operativa. Se utiliza en sub-estaciones de distribución o de sub-transmisión.



5.5.3 Arreglo de barra en anillo

En el esquema de barra en anillo, el número de interruptores es igual al número de líneas que terminan en la sub-estación. La barra en anillo es un diseño más económico que el denominado de interruptor y medio, pero también ofrece menor confiabilidad y flexibilidad de operación.



5.5.4 Arreglo de barra en transferencia

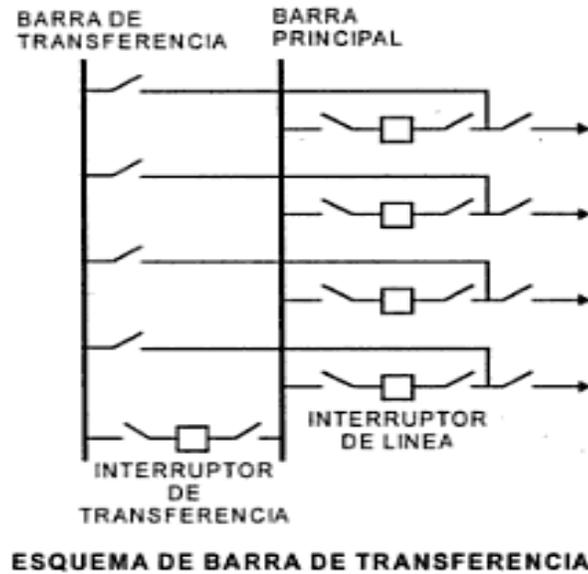
El arreglo con barra de transferencia puede tener algunas variantes, en este tipo de arreglo cada línea de transmisión está conectada a la barra principal por medio de una cuchilla desconectadora. La barra o bus de transferencia está conectado a la barra o bus principal por medio de un interruptor de transferencia, el bus de transferencia sirve entonces como una alternativa de suministro para cualquiera de las líneas de transmisión. En condiciones normales de operación ambos buses están energizados.

Cuando es necesario retirar alguno de los servicios de los interruptores de línea, se puede seguir el orden de desconexión que se indica:

- ❖ Disparar o desconectar el interruptor de transferencia
- ❖ Se cierra el bus del interruptor de transferencia de la línea afectada.
- ❖ Se vuelve a cerrar el interruptor del bus de transferencia
- ❖ Se dispara o abre el interruptor de la línea afectada
- ❖ Se abre la cuchilla desconectadora para aislar el interruptor

Este orden es solo una opción, ya que el orden depende del arreglo de la sub-estación y de los procedimientos de operación de la empresa eléctrica.

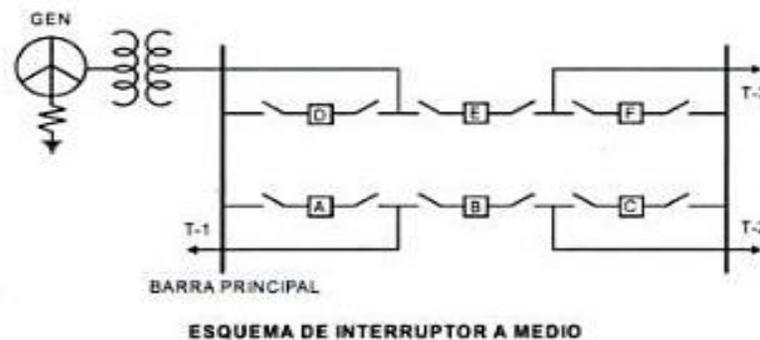
CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.



5.5.5 Arreglo de interruptor y medio

El esquema de interruptor y medio se usa normalmente en sub-estaciones eléctricas de la red de transmisión, en voltajes de 220kV, 230kV o superiores. En este esquema de arreglo de barras para sub-estaciones, hay dos barras principales con tres interruptores que conectan a las dos barras. Las líneas de transmisión terminan en un punto eléctricamente entre cualquiera de los dos interruptores. El nombre de interruptor y medio viene probablemente de hecho que hay tres interruptores por cada dos líneas de transmisión, o bien uno y medio interruptor por línea.

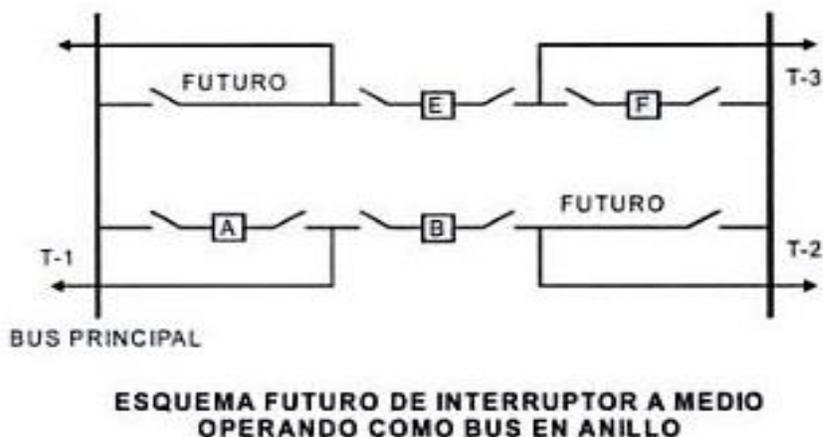
Para sub-estaciones con más de cuatro terminaciones para líneas de transmisión, se requieren más bahías de interruptores con las líneas terminales en forma similares a la siguiente figura:



CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Con este esquema se obtiene un alto grado de confiabilidad, dado que cualquier interruptor se puede retirar de operación, manteniendo todas las líneas de operación energizadas.

En algunas ocasiones, una sub-estación puede estar diseñada para un arreglo de interruptor y medio y estar operada como un arreglo de bus en anillo, dejando fuera dos de los interruptores, como se muestra a continuación:



Cuando el sistema requiera una mayor confiabilidad, se pueden agregar un par de interruptores.

5.6 Tecnología de las sub-estaciones eléctricas

Existen 3 tipos de tecnologías de las sub-estaciones eléctricas:

- ❖ Aisladas en aire
- ❖ Aisladas en Hexafloruro de azufre
- ❖ Compactas

5.6.1 Sub-estaciones aisladas en aire

En este tipo de sub-estaciones, el aire sirve como medio aislante y, por lo tanto, se usan principalmente en exteriores. En caso de sub-estaciones de alta tensión, tienen el inconveniente de que ocupan un espacio importante para su construcción, por lo que su aplicación en áreas urbanas está restringida por la disponibilidad de terreno. Esta tecnología tiene dos variantes de construcción:

- ❖ Tipo intemperie
- ❖ Tipo interior

5.6.1.1 Sub-estaciones tipo intemperie

Estas sub-estaciones se construyen en terrenos a áreas expuestas al medio ambiente y, por tanto, requiere de un diseño, aparatos y maquinas que sean capaces de soportar el funcionamiento en condiciones atmosféricas adversas.

5.6.1.2 Sub-estaciones tipo interior

En este tipo de sub-estaciones, los equipos y maquinas usadas, están diseñadas para operar en interiores, aunque ha caído en desuso por la creciente utilización de sub-estaciones aisladas en hexafloruro de azufre.

5.6.2 Sub-estación aislada en Hexafloruro de Azufre

En México, este tipo de sub-estaciones generalmente se diseña en el rango de 115 a 400 kV y tensiones superiores en otros países. Se aplica en aquellos casos en que por problemas de espacio o de impacto al medio ambiente, existen restricciones para construir las sub-estaciones convencionales con aislamiento en aire. Ocupan un cuarto de espacio de las que ocupan las aisladas por aire, pueden estar diseñadas para operar en exteriores o en interiores.

La aplicación de estas sub-estaciones data de los años 70's. En la actualidad, la literatura disponible para las sub-estaciones aisladas en gas es bastante extensiva.

5.6.3 Sub-estaciones compactas

También se le conoce como sub-estaciones unitarias y son muy utilizadas en instalaciones industriales y comerciales. Reciben la energía, en el caso de las grandes industrias, de sub-estaciones primarias, para ser distribuida a distintos puntos en las instalaciones. Generalmente esta cerradas completamente por medio de placas metálicas, de manera que no tienen partes vivas o energizadas expuestas al contacto de las personas. Básicamente se tienen 3 tipos de arreglos para este tipo de sub-estaciones: *Radial*, *secundario selectivo* y *primario selectivo*.

Las sub-estaciones unitarias ofrecen ventajas que las hacen recomendables, tanto en instalaciones industriales como comerciales, así como en grandes edificios donde el valor de la carga es considerable. Por lo general son de diseño modular, con las siguientes ventajas:

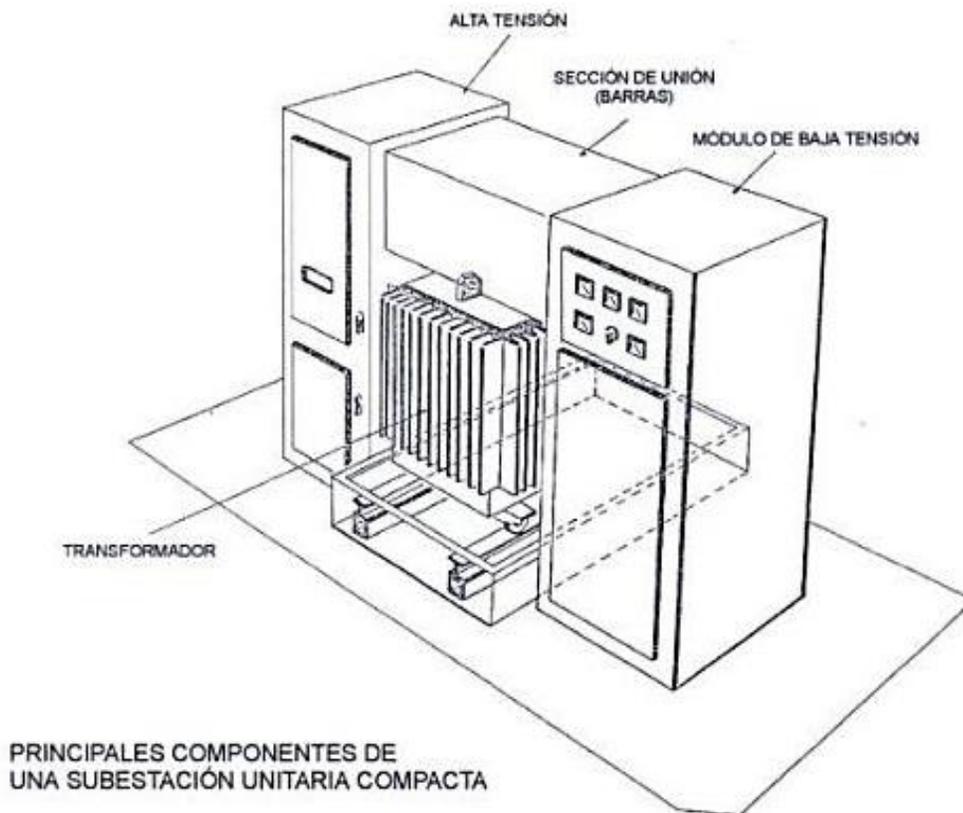
CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ Los módulos se diseñan para su conexión en distintos arreglos y se pueden equipar con distintos tipos de equipos: de protección, medición o equipos mayores como: interruptores, fusibles, desconectadores, apartarrayos, etc.
- ❖ Tienen un tamaño compacto
- ❖ Se pueden instalar en recintos que son de acceso general, con algunas restricciones mínimas
- ❖ Están protegidos contra efectos o agentes externos

Las sub-estaciones unitarias están constituidas, como se mencionó antes por módulos o unidades, que tienen básicamente tres componentes:

- ❖ Unidad de alta tensión
- ❖ Unidad del transformador
- ❖ Unidad e baja tensión

Según se requiera en las exigencias del servicio a la instalación, puede haber módulos o unidades adicionales con las disposiciones de acuerdo a las necesidades específicas.



5.7 Métodos de cálculo para sub-estaciones

La realización de proyectos de ingeniería eléctrica, como es el caso del diseño de las líneas de transmisión y de las sub-estaciones eléctricas, requiere de ciertos estudios para definir las características principales y como soporte de las especificaciones de los equipos.

Los estudios en los sistemas eléctricos permiten dar respuesta a tres preguntas básicas en el desarrollo de proyectos eléctricos: *el por qué, el qué y el cómo*. Para esto, se deben comprender los cuatro objetivos básicos de los estudios en un sistema eléctrico:

- ❖ Evaluar el comportamiento de un sistema existente o futuro
- ❖ Para determinar la efectividad de las alternativas para modificar un sistema existente o diseñar uno nuevo.
- ❖ Para seleccionar una solución o alternativa desde un punto de vista costo-efectividad
- ❖ Para seleccionar las capacidades adecuadas del equipo.

A continuación mostraremos un sistema que nos ayudara para los estudios.

5.7.1 Sistema por unidad

El sistema por unidad (p.u) se usa en forma extensiva en los cálculos en sistemas eléctricos de potencia, esencialmente el sistema por unidad es un sistema de medición en el cual varias cantidades eléctricas son normalizadas con respecto a un valor base específico.

A continuación se mostrara el método usado para desarrollar los cálculos en los sistemas eléctricos de potencia usando el sistema por unidad. Las cantidades eléctricas como, voltaje, corriente, impedancias, se convierten a valores por unidad. El método es aplicable a sistemas monofásicos y trifásicos.

La normalización de números está referida como valores base en la terminología de los sistemas de potencia, entonces, el valor normalizado de una cantidad se puede expresar como **una relación de su valor en unidades físicas a un valor base apropiado**; los valores normalizados son conocidos como **valores por unidad**, las formulas básicas son:

$$V_{p.u} = \frac{V}{V_b}$$

$$I_{p.u} = \frac{I}{I_b}$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$\Omega p. u = \frac{\Omega}{\Omega b}$$

El valor en por ciento de una cantidad es su valor por unidad (p.u) multiplicado por 100. De las cuatro cantidades básicas: *voltaje*, *corriente*, *potencia e impedancia*, la selección de los valores base para cualquiera de las dos de ellas, determina los valores base para las otras dos. Las siguientes formulas relacionan las cantidades.

$$Ib = \frac{kVA b}{kV b}$$

$$Zb = \frac{V b}{I b}$$

$$Zb = \frac{(kV b)^2}{kVA b \times 1000} \text{ o } \frac{(kV b)^2}{MVA b}$$

Debido a que los sistemas trifásicos balanceados se pueden resolver como monofásicos, las bases son los kVA por fase y los kV de línea a línea. Dados los kVA para las tres fases en total y el voltaje base de línea a línea, entonces:

$$Ib = \frac{kVA b}{\sqrt{3} \times kV b}$$

$$Zb = \frac{(kV b)^2}{kVA b \times 1000} \text{ o } \frac{(kV b)^2}{MVA b}$$

Es decir, el valor por unidad para un valor de kVA trifásico en una base trifásica de kVA, es idéntico al valor por unidad de una base monofásica en kVA sobre kVA monofásicos.

En los cálculos, todas las impedancias en cualquier parte del sistema se deben expresar sobre una base común, por lo tanto, es necesario convertir impedancias por unidad de una base a otra, esto es lo que se conoce como cambio de base. Las fórmulas para cambiar de base las impedancias son los siguientes:

$$\text{Ohms por unidad} = \text{Ohms actuales} \left(\frac{kVA b}{(kV b)^2} \right) \times 1000$$

$$\text{Ohms por unidad base nueva} = \text{Ohms por unidad base vieja} \left(\frac{kVA b \text{ nueva}}{kVA b \text{ vieja}} \right)$$

$$\text{Volts por unidad base nueva} = \text{Volts por unidad base vieja} \left(\frac{kV b \text{ vieja}}{kV b \text{ nueva}} \right)$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Cuando se requiere cambiar ambas bases de voltaje y potencia, se pueden combinar las ecuaciones anteriores:

$$Z_{p.u \text{ nueva}} = Z_{p.u \text{ vieja}} \left(\frac{kVb \text{ vieja}}{kVb \text{ nueva}} \right)^2 \left(\frac{kVAb \text{ nueva}}{kVAb \text{ vieja}} \right)$$

La selección de los valores base de kVA y kV se debe hacer de la manera que se reduzca el cálculo lo más posible.

Para los generadores se tiene que hacer el cambio de base de las reactancias, y se hace por medio de la siguiente formula:

$$X_{b2} = X_{b1} \frac{KVA2}{KVA1} \left(\frac{KV1}{KV2} \right)^2$$

5.7.2 Calculo de cortocircuito

Un sistema eléctrico puede estar expuesto a fallas a cortocircuito, en tal situación, el equipo fallado o parte del sistema en falla requiere ser aislado del resto en forma segura. La pérdida de potencia suministrada se debe limitar al equipo de la falla y/o a la parte del sistema en falla únicamente.

Para detectar y aislar la falla se deben utilizar algunos dispositivos como son: *relevadores, interruptores, fusibles, restauradores, etc.*

La selección correcta de estos dispositivos y la coordinación apropiada de los mismos requiere de los cálculos de las corrientes de cortocircuito esperadas para distintos tipos de fallas y distintas condiciones de operación del sistema.

Las fallas de más interés son las fallas trifásicas y de fase a tierra, considerando las condiciones del sistema que producen las corrientes de cortocircuito máxima y mínima, es decir, el propósito de los cálculos de cortocircuito son:

- ❖ Determinar el esfuerzo impuesto sobre los dispositivos de interrupción, tales como interruptores y fusibles
- ❖ Aplicar los resultados a relevadores y dispositivos de protección
- ❖ Coordinar los dispositivos de protección
- ❖ Determinar los esfuerzos mecánicos y térmicos sobre cables, barras, ductos, etc.
- ❖ Determinar la mínima corriente de cortocircuito

Las principales fuentes de alimentación de un cortocircuito se deben representar en los modelos para cálculos de cortocircuito. Las principales fuentes de un cortocircuito son:

- ❖ El sistema de la empresa suministradora
- ❖ Las maquinas síncronas
- ❖ Los motores de inducción

5.7.2.1 Tipos de fallas a estudiar

En un sistema eléctrico de potencia existe la posibilidad de que se presenten diferentes tipos de fallas por cortocircuito, en general se pueden mencionar las siguientes:

- ❖ Falla de línea a tierra (fase a tierra)
- ❖ Falla e línea a línea (fase a fase)
- ❖ Falla de dos líneas a tierra
- ❖ Falla trifásica

Para determinar las características del equipo de protección, así como la protección misma y los estudios de esfuerzos electrodinámicos en una sub-estación eléctrica, normalmente se realizan estudios para fallas de:

- ❖ Línea a tierra
- ❖ Trifásica

La primera por ser la más probable a ocurrir, y la segunda, a pesar de ser la menos probable a ocurrir, es la que puede someter a los equipos, maquinas y/o aparatos a los esfuerzos más severos; además, desde el punto de vista analítico, resulta la más fácil de estudiar y sus resultados son bastantes satisfactorios para las distintas aplicaciones, especialmente en instalaciones eléctricas de distribución o las denominadas instalaciones y sub-estaciones eléctricas tipo industrial.

Existen tres métodos los cuales nos ayudan a realizar los estudios de cortocircuito para las fallas antes mencionadas:

- ❖ Las componentes simétricas
- ❖ El método del bus infinito
- ❖ El método de los MVA

5.7.3 Método de las componentes simétricas

A este método se le conoce como tal, porque en el estudio de las distintas fallas, las consideran como desbalanceadas y entonces, se descompone de un sistema de vectores,

corrientes o voltajes desbalanceados por uno equivalente de tres sistemas de vectores balanceados, denominados de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

Solo haremos una breve descripción del principio básico de aplicación para las fallas de línea a tierra y trifásica.

5.7.3.1 Falla línea a tierra

En este tipo de falla, la corriente está afectada por la forma en que se encuentran los neutros del sistema conectados a tierra, ya que representan los puntos de retorno para la circulación para las corrientes de secuencia cero, de tal forma que para su estudio en los diagramas de reactancias, es necesario considerar este aspecto en la denominada red de secuencia cero que está constituida por las impedancias de secuencia cero del sistema bajo estudio.

La determinación de la corriente total de falla en un punto, se obtiene como la contribución de las corrientes de cortocircuito por los elementos activos de la red bajo estudio en ese punto: esto significa que se requiere elaborar un diagrama de impedancias que considere a las llamadas impedancias de secuencia positiva, otro que considere a los de secuencia negativa y uno más que contenga a las de secuencia cero, a partir de estos diagramas se obtienen las impedancias equivalentes en cada caso, vistas del punto de la falla hacia la fuente de alimentación del cortocircuito.

El procedimiento para el estudio puede ser el siguiente:

- ❖ Se parte de un diagrama unifilar del sistema por estudiar, en donde se representen los elementos principales para el estudio, es decir, las fuentes (generadores, motores síncronos, motores de inducción, etc.), elementos pasivos (transformadores, líneas de transmisión, reactores, etc.), indicando los principales datos para cada elemento, como son: potencia nominal, tensión nominal, reactancias transitorias, sub-transitorias y de secuencia cero en generadores y motores, impedancias de transformadores, líneas de transmisión o redes de distribución, reactores y en general elementos limitadores de corrientes.
- ❖ Se selecciona una potencia base y las tensiones bases convenientes para referir todas las impedancias a un valor común de potencia y a las tensiones adecuadas.
- ❖ Se seleccionan los diagramas e impedancias del sistema, indicando sobre estos los valores de impedancia de los distintos elementos, ya estando referidos a una base común.

Para la elaboración de los diagramas de impedancias se puede proceder como sigue:

5.7.3.1.1 Diagrama de impedancias de secuencia positiva

Este diagrama se puede obtener de una manera bastante simple, reemplazando cada elemento del sistema mostrado en el diagrama unifilar por su impedancia ya referida a la base común y representando también a las fuentes de voltaje con sus valores expresados por unidad y referidos también a una base de tensión común.

En el caso de las fuentes de voltaje, es necesario considerar que, dependiendo de la importancia y magnitud del sistema, se pueden obtener fuentes equivalentes para los generadores, motores síncronos y grupos de motores de inducción.

El punto o barra de referencia para la red de secuencia positiva está representado por el neutro del sistema, de tal forma que una red de secuencia positiva se puede formar de acuerdo a lo indicado para el siguiente sistema:

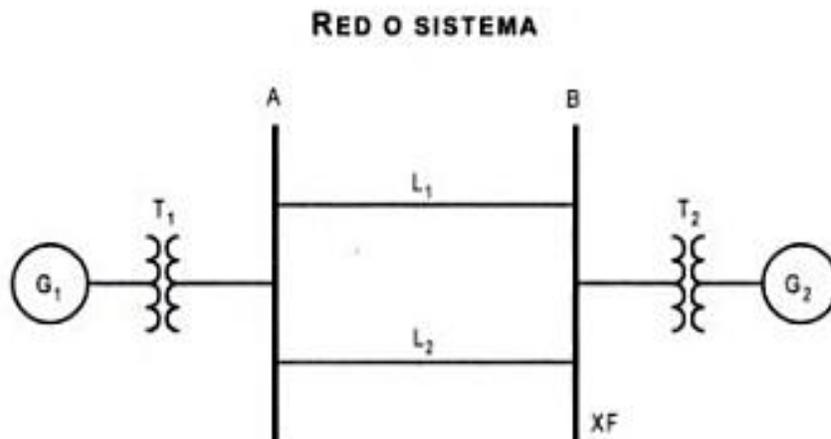
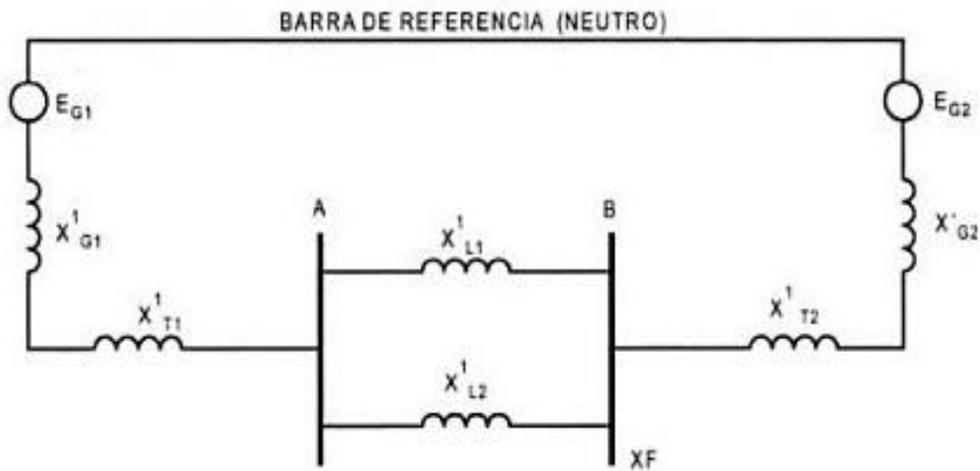


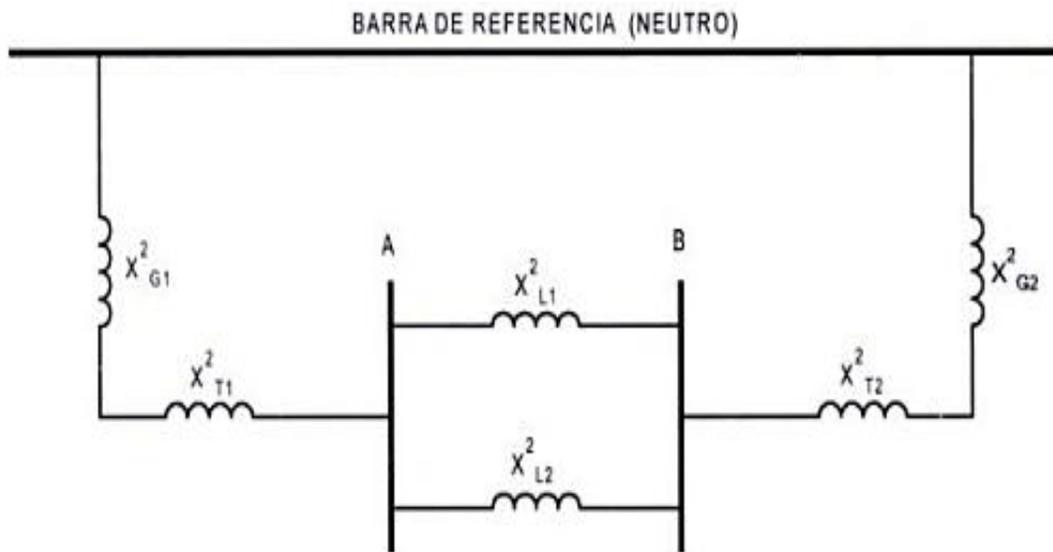
DIAGRAMA O RED DE SECUENCIA POSITIVA



5.7.3.1.2 Diagrama de impedancias de secuencia negativa

Este diagrama se elabora de la misma manera que el de secuencia positiva, la única diferencia consiste en que este diagrama no contiene fuentes de voltaje como ocurre en el diagrama de secuencia positiva.

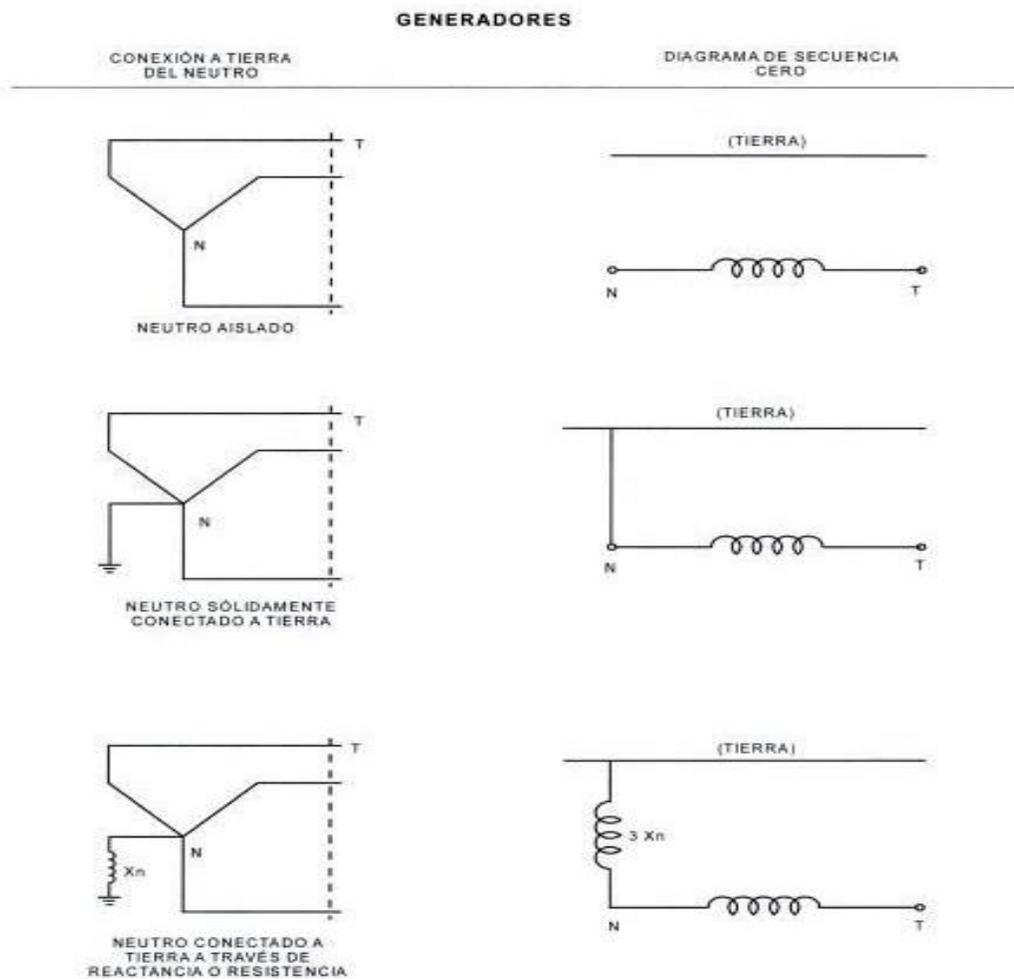
Para el sistema mostrado antes, la red de secuencia negativa será el siguiente:



5.7.3.1.3 Diagrama de impedancias de secuencia cero

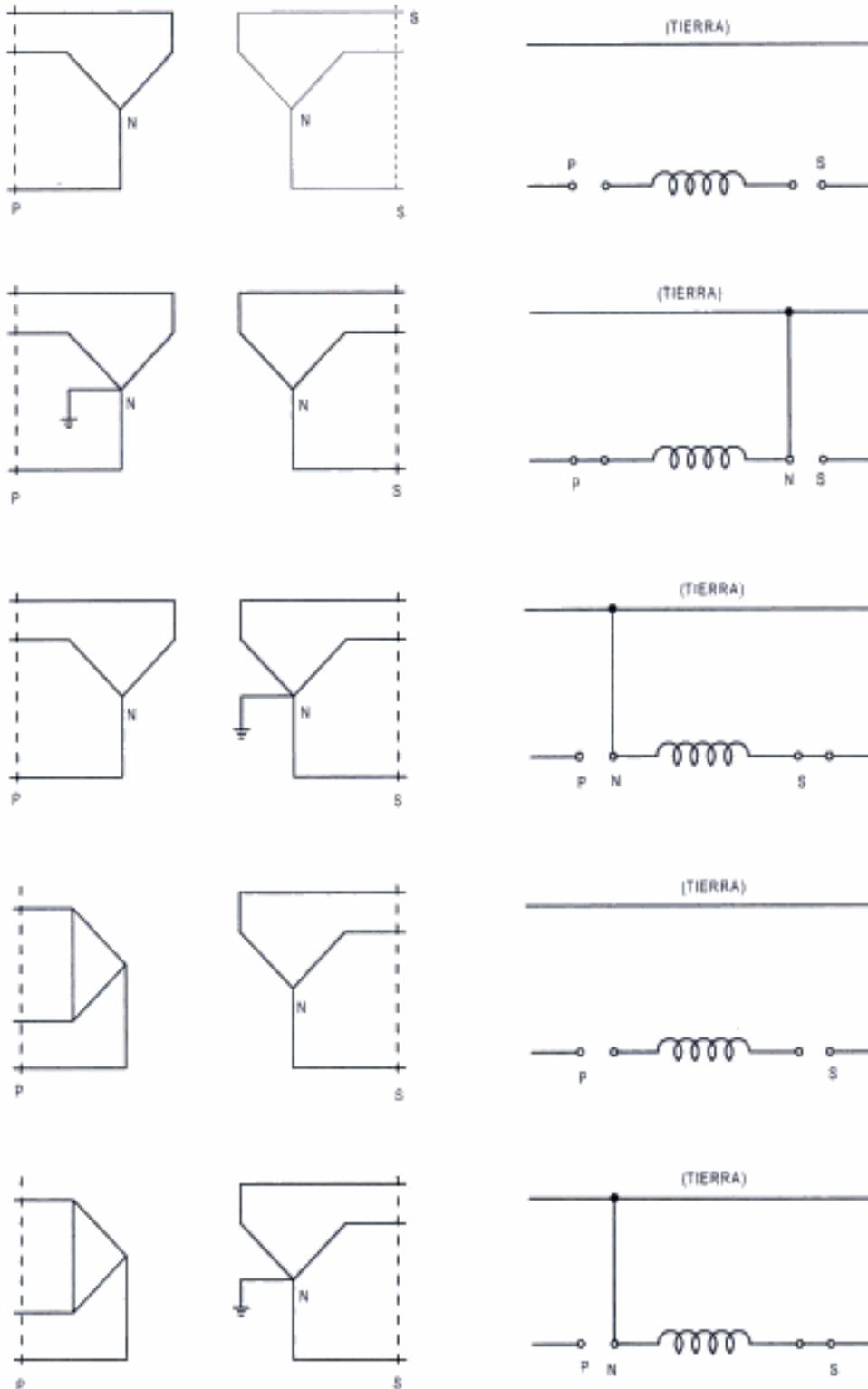
La elaboración del diagrama de impedancias de secuencia cero requiere de consideraciones adicionales a las que se realizan para los diagramas de secuencia positiva y negativa, ya que las corrientes de secuencia cero que circulan a través de estas impedancias lo hacen a tierra, por lo que influye la forma en que estén los neutros de los distintos elementos conectados a tierra.

Antes de mostrar cómo se debe realizar el diagrama de secuencia cero, se hará una revisión de la forma en cómo se conectan a tierra y sus correspondientes diagramas de reactancias para algunos elementos aislados, en particular los generadores y transformadores.



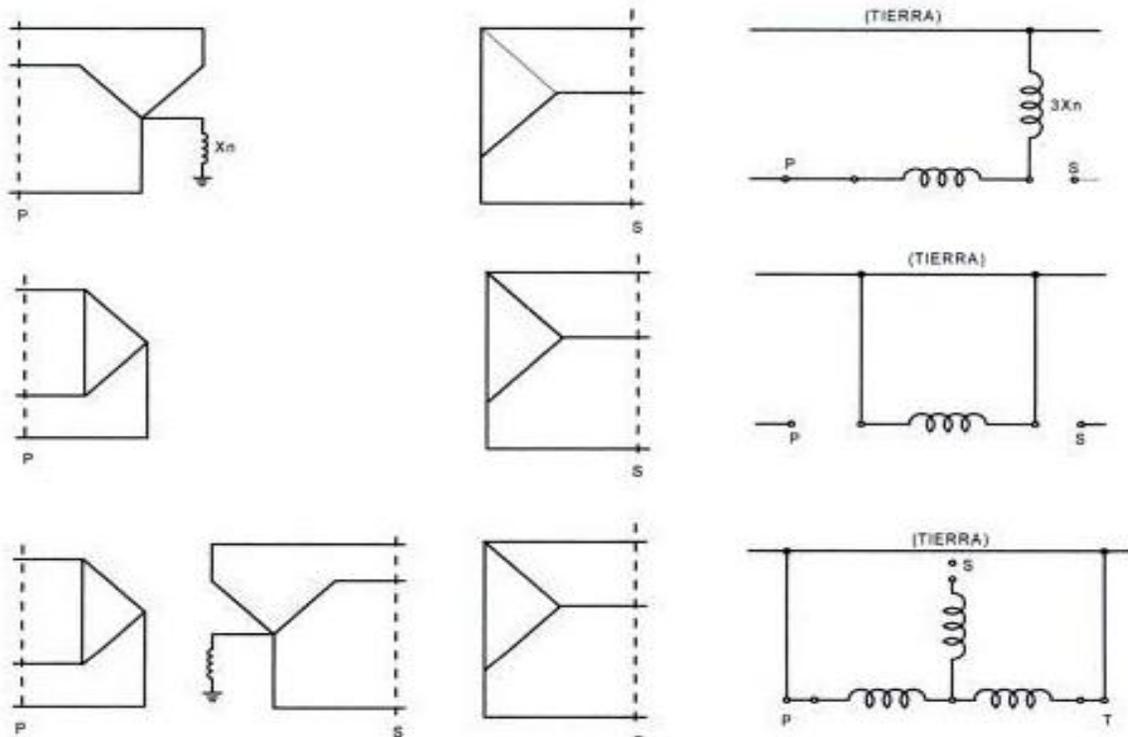
CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

TRANSFORMADORES

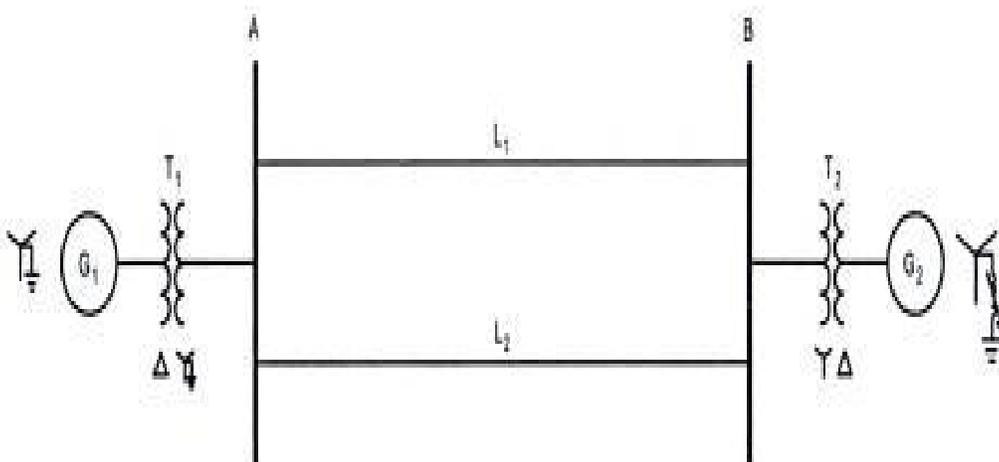


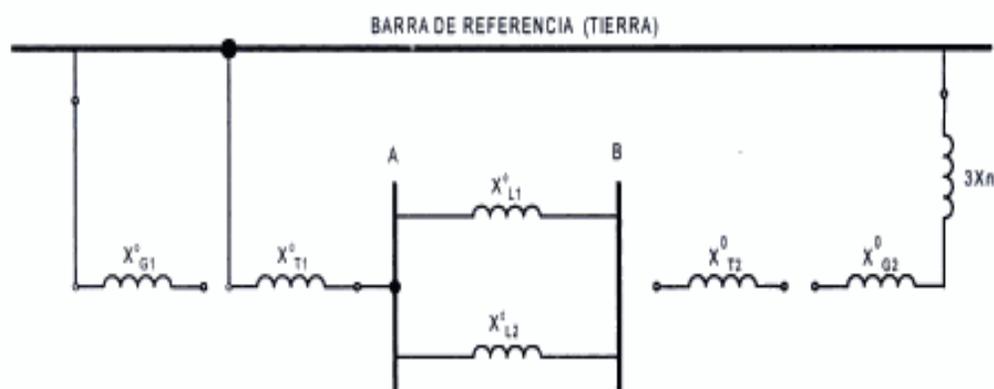
CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

TRANSFORMADORES (CONTINUACIÓN)



Se considera el mismo sistema que se usó para elaborar las redes de secuencia positiva y negativa para la elaboración de un diagrama de secuencia cero para poner un ejemplo.





5.7.3.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Para la falla de línea a tierra, usando el método de las componentes simétricas, se pueden calcular la corriente total de falla de un punto dado el sistema, aplicando la expresión:

$$I_a = \frac{3\epsilon}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (p.u)$$

Suponiendo que la falla ocurrió entre la fase y la tierra, la corriente por calcular es I_a , pero para cualquier fase que estuviera en falla la expresión es la misma, solo existirá un desfaseamiento.

X_1 representa la reactancia de secuencia positiva equivalente entre el punto de falla y la fuente de alimentación-

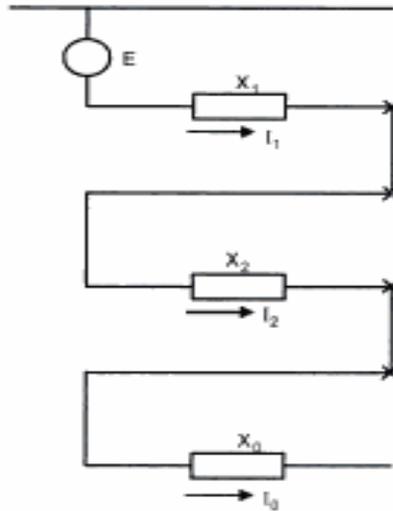
X_2 es la reactancia de secuencia negativa entre el punto de falla y la fuente

X_0 también representa una reactancia equivalente, pero de secuencia cero entre la falla y el punto de alimentación, considerando las conexiones a tierra de los neutros.

La expresión anterior, supone que las corrientes (de secuencia) en cada diagrama de secuencias sean las mismas, o sea que estén conectadas en serie, por lo que:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$I_1 = I_2 = I_0, \quad I_a = 3 I_1 = \frac{3\epsilon}{X_1 + X_2 + X_0}$$



Es bastante común que las impedancias de secuencia positiva y negativa sean iguales, por lo que entonces la expresión para el cálculo de la corriente de falla a tierra se puede simplificar como:

$$I_a = \frac{3\epsilon}{2X_1 + X_0} \quad \text{donde: } \epsilon. - \text{tension de la fuente (p.u)}$$

Tenemos algunas fórmulas extras que nos ayudaran para que el cálculo sea más fácil de estudiar, a continuación las mostraremos:

$$Z_{red} = \frac{MVAb}{Pcc}$$

$$X_{Tnb2} = X_{Tnb1} \left(\frac{XVAb2}{XVAb1} \right) \left(\frac{XKVb1}{XKVb2} \right)^2 \quad : \text{ Para calcular la reactancia de los transf. y gen. Se}$$

emplea esta fórmula.

$$I_{p.u} = \frac{\epsilon}{Z_{eq}}$$

$$I_{cc} = I_{p.u} (I_b)$$

5.7.4 Método del bus infinito para cálculo de cortocircuito

Este método constituye un caso particular del método general de estudios de cortocircuito, por el método de las componentes simétricas, en el que se considera solo la falla trifásica, o sea, que solo interviene en el estudio el diagrama de secuencia positiva.

En principio, se supone que el cortocircuito en la instalación es alimentado por una fuente infinita que incluye a la red y a las distintas plantas generadoras del sistema, constituyendo esto a la parte activa, siendo las partes positiva las impedancias de los distintos elementos.

El método de cálculo es el siguiente:

- ❖ Se parte de un diagrama unifilar en donde se representan los elementos del sistema con sus datos de potencia, tensión e impedancia.
- ❖ Se refieren las impedancias a valores base de potencia y tensión
- ❖ Se hace la reducción de impedancias por combinación serie-paralelo y transformaciones delta-estrella o estrella-delta, cuando sea necesario, hasta obtener la impedancia equivalente entre la fuente y el punto de falla seleccionado.
- ❖ Las corrientes y potencia de cortocircuito en el punto de falla se calculan:

$$ICC = \frac{KVAb}{\sqrt{3}KVb (Zeq(p.u))}$$

Siendo:

Icc=Corriente de cortocircuito simétrica en amperes o KA

KVAb=Base de potencia seleccionada para el estudio

KVb=Base de tensión en el punto de falla seleccionado

Zeq (p.u)=Impedancia equivalente entre la fuente y el punto de falla expresada por unidad (p.u).

La corriente de corto circuito asimétrica se puede calcular como: $IccA=KIcc$

Siendo K un factor de asimetría que depende de la relación R/X para el sistema en estudio:

- ❖ Se puede emplear el factor K para el menor de relación R/X
- ❖ El factor se forma con la relación R/X de la red resultante o equivalente $ZK=RK+JXK$ en el punto de falla cuyo caso, la corriente de cortocircuito asimétrica se puede calcular como: $1.15 K$, o sea el mínimo valor sería 1.15 y el máximo no excede 1.8

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

- ❖ El valor máximo de $K=2$ se obtiene solo cuando $R=0$, que equivaldría a una falla en las terminales del generador, pero aun en estos casos se ha demostrado que en generadores con potencias inferiores a 100MVA, el factor de asimetría máximo es 1.8 y lo mismo ocurre en grupos generador-transformador conectados en bloque cuando ocurre un cortocircuito en el lado de alta tensión del generador (en este caso se puede considerar excepcionalmente $K=1.9$)

La potencia de cortocircuito en el punto de falla se puede calcular:

$$P_{cc} = \frac{KVAb}{Z_{eq}(p.u)}$$

A continuación mostraremos algunas fórmulas complementarias para este método:

Transformadores:

$$Z_T = \frac{Z\%}{PN}$$

Generadores:

$$Z_G = \frac{X''d}{PN}$$

Motores:

$$X_M = \frac{IN/IA}{PN} \times 100$$

Donde:

IA .- Corriente de Arranque del motor. Se puede tomar como 5IN

IN.- Corriente Nominal

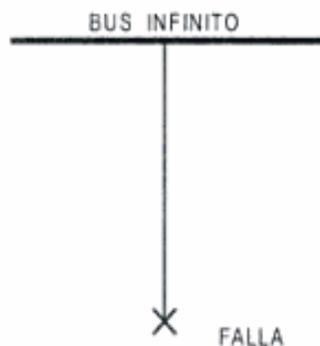
PN.- Potencia Nominal en MVA

$$PN = \frac{0.746 \times HP}{\cos\phi}$$

5.7.5 Método de los MVA para cálculo de cortocircuito

Este método es básicamente una modificación del método óhmico, en el cual la impedancia de un circuito es la suma de las impedancias de sus componentes, y en virtud de que por definición la admitancia es la reciproca de la impedancia, se tiene que la reciproca de la admitancia del sistema es la suma de las reciprocas de las admitancias componentes.

También, por definición, la admitancia de un circuito o componente es la máxima corriente o KVA o voltaje unitario, que circula a través del circuito o componente de un cortocircuito o falla, cuando es alimentada de una fuente de capacidad infinita. Para un mejor entendimiento, consideremos la siguiente figura:



La corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = V/Z$$

La potencia de cortocircuito:

$$VA_{cc} = \epsilon^2/Z$$

$$KVA_{cc} = (1000 \text{ KV})^2/Z$$

$$KVA_{cc} = \text{KV}^2/Z$$

Se sabe además que:

$$Y = \frac{1}{Z_{\text{ohms}}}$$

$$KVA_{cc} = 1000 \times (\text{KV})^2 \times Y$$

$$MVA_{cc} = (\text{KV})^2 \times Y$$

$$MVA_{cc} = \frac{MVA}{Z_{p.u.}}$$

Siendo:

Y = Admitancia del circuito.

Zohms = Impedancia en ohms.

Z p.u. = Impedancia en por unidad.

KV = Voltaje de línea a línea.

KVA_{cc} = KVA de cortocircuito.

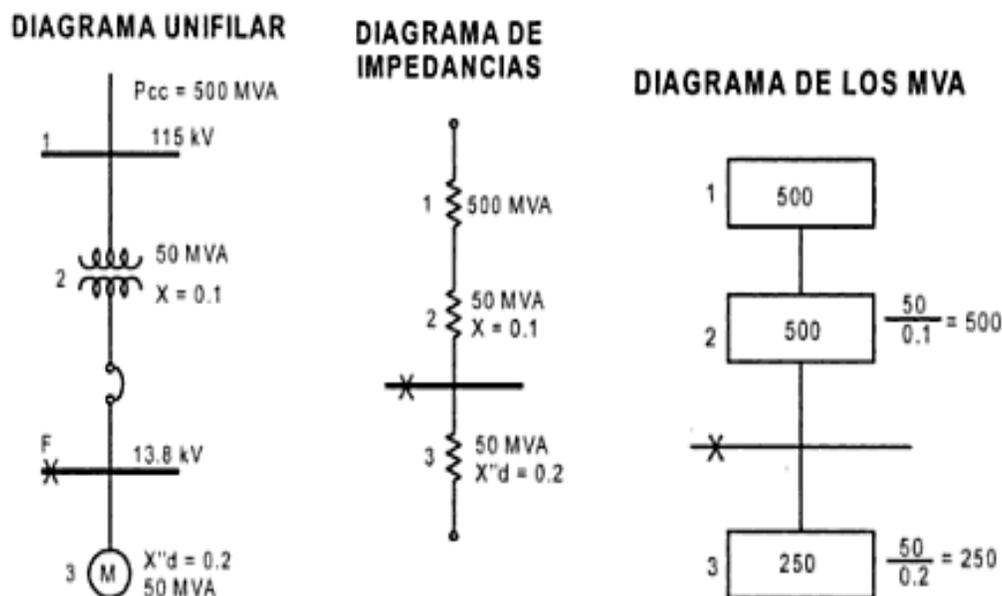
MVA_{cc} = MVA de cortocircuito.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

El método de los MVA se usa separando el circuito en sus componentes y calculando cada componente con su propio bus infinito, para lo cual se pasa del diagrama unifilar del sistema en estudio a un diagrama de impedancias y al diagrama de MVA; la conversión del diagrama unifilar al diagrama de MVA resulta muy simple.

La primera componente del sistema normalmente es la capacidad interruptiva del sistema bajo estudio en MVA, y el resto de componentes del diagrama de MVA, se obtiene dividiendo la potencia del elemento expresado en MVA entre su impedancia expresada por unidad.

Para ilustrar lo anterior, consideremos el siguiente diagrama elemental:



Es decir, los MVA de cortocircuito de cada componente se obtienen de dividir su propia potencia entre su impedancia expresada por unidad.

Como podemos observar en la imagen, el motor se encuentra en paralelo con el sistema, si la falla se localiza en el punto F, bueno para poder combinar los MVA en serie con los MVA en paralelo, utilizaremos las siguientes expresiones:

En serie:

$$MVA_s = \frac{(MVA1) * (MVA2)}{MVA1 + MVA2}$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

En paralelo:

$$MVA_p = MVA1 + MVA2$$

Como podemos ver, la fórmula que utilizamos para un circuito serie, es como si combináramos resistencias en paralelo, y la formula en paralelo es como si combináramos resistencias en serie.

Del sistema elemental, podemos decir que el método de los MVA consiste en lo siguiente:

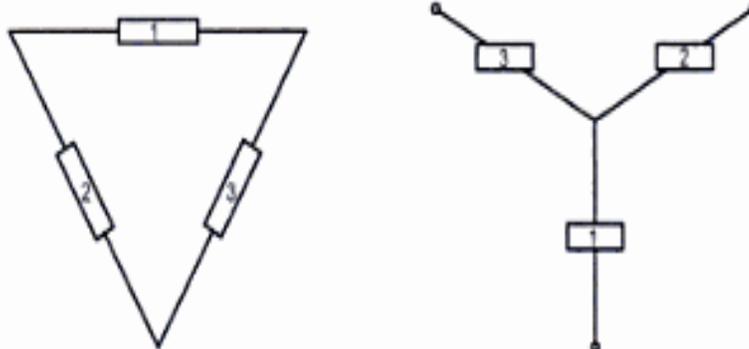
- ❖ Partir de un diagrama unifilar del sistema por estudiar, en donde se indique en cada elemento (numerado) su potencia en MVA y su impedancia por unidad
- ❖ Se convierten todos los componentes del diagrama unifilar del diagrama a sus MVA de cortocircuito, para lo cual, se divide en cada componente sus MVA sobre su reactancia por unidad

$$MVA_{cc} = \frac{MVA}{X(p.u)}$$

- ❖ A diferencia de los otros métodos, el de los MVA no requiere de una base común en MVA o KVA y tampoco es necesario cambiar las impedancias de base
- ❖ Para combinar los MVA que aparecen en el diagrama de los MVA, hay que seguir las siguientes reglas:

Utilizar las formulas antes mencionadas para el arreglo en serio o en paralelo de los elementos que conforman el sistema.

Cuando los elementos se encuentran en una combinación delta y se desea convertir a estrella, se aplica lo siguiente:



Donde se designaran las reactancias delta con la letra D y las estrellas con la letra Y:

$$Y1 = S/D1$$

$$Y2 = S/D2$$

$$Y3 = S/D2$$

Donde $S = (D1 \cdot D2) + (D2 \cdot D3) + (D3 \cdot D1)$

- ❖ Si se desea calcular la corriente de cortocircuito en el punto de falla , se aplica la expresión:

$$I_{cc} = \frac{KVApf * 1000}{\sqrt{3} * KV}$$

Donde los MVA representan a los equivalentes en el punto de falla y KV es la tensión en el mismo punto.

Los MVA de Falla de calculan con el valor equivalente de MVA x 3, ya que es de las 3 fallas, y este valor es el que se utiliza en la expresión de Icc antes mencionada.

5.7.5.1 Falla de línea a tierra por el método de los MVA

El método general está basado en el principio para el análisis de fallas asimétricas por el método de las componentes simétricas, en donde se considera también la forma en cómo se encuentran los neutros conectados a tierra para la red de secuencia cero, que en el método de los MVA aparece solo como aquellos elementos que tienen contribución a la falla.

Se puede considerar que en general las reactancias de secuencia negativa y secuencia positiva son iguales, entonces los MVA de esas secuencias entonces son iguales

Los MVA e secuencia cero se calculan con los valores de impedancias que se indiquen, y en el caso particular de los transformadores:

$$MVAx1 = MVAx2 = MVAx0$$

Para los motores eléctricos, se puede considerar en forma aproximada que:

$$MVAx0 = MVAx1/2$$

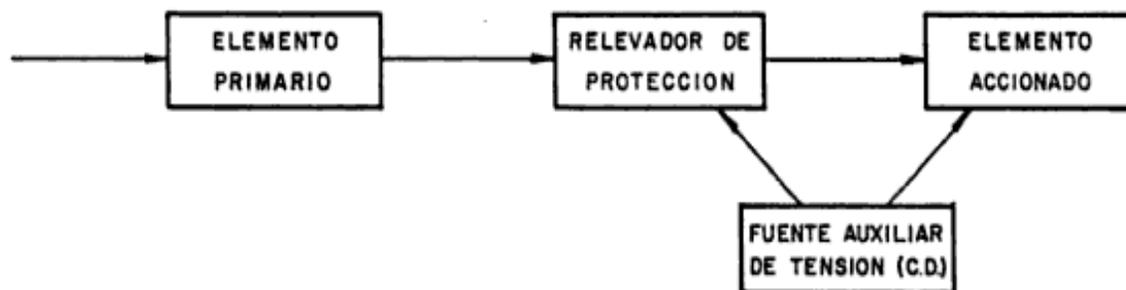
Los MVA de la falla de línea a tierra se pueden obtener combinando los MVA de cada secuencia con las reglas dadas por la falla trifásica y, posteriormente los equivalentes para cada secuencia para obtener los de falla en la misma forma que se hace por el método de las componentes simétricas para determinar la corriente de falla a tierra.

Los MVA de Falla se calculan con el valor equivalente de $MVA \times 3$, ya que es de las 3 fallas, y este valor es el que se utiliza en la expresión de I_{cc} antes mencionada.

5.8 Dispositivos de protección contra fallas.

Se puede afirmar que muchas de las fallas que se presentan en las instalaciones eléctricas son prácticamente inevitables, no solo desde un punto de vista técnico, también económicamente las soluciones que se adoptaran resultarían prohibitivas desde un punto de vista económico, razón por la cual es necesario considerar que no es posible evitar con certeza la presencia de fallas por lo que para evitarlas y disminuir sus efectos es necesario disponer de los dispositivos de protección apropiados.

En general cualquier dispositivo de protección a base de relevadores consta de los siguientes elementos:



Elemento Primario.- Este elemento es por lo general el que detecta las señales procedentes de la falla (corriente, voltaje, etc.) y las convierte en valores aptos para alimentar al relevador de protección. Por lo general estos elementos primarios están constituidos por transformadores de corriente los cuales además constituyen el medio de aislamiento eléctrico entre las partes de alta tensión y de baja tensión de la instalación eléctrica.

Relevador de protección.- El relevador de protección constituye de hecho el elemento principal de los dispositivos de protección contra fallas y es por decirlo así “el alma” de cualquier esquema de protección. Está constituido por: Un órgano de conversión que es el encargado de convertir las señales de entrada procedentes del elemento primario, con frecuencia este elemento físicamente no existe y el relevador usa directamente la señal proveniente del

elemento primario; un órgano de medida que es la parte más importante del relevador, ya que aquí se miden las señales procedentes de los otros órganos y se decide de acuerdo con el valor de la medida cuando entra en función el dispositivo de protección; el órgano de salida que representa el elemento intermedio entre el dispositivo de protección y los elementos que son accionados por este dispositivo, por lo general este órgano amplifica la señal del órgano de medida.

Elemento accionado.- Está constituido por el elemento al cual llega la señal de relevador y es por lo general la bobina de disparo de los interruptores.

Fuente auxiliar de tensión.- Normalmente en todas las instalaciones de protección a base de relevadores se debe de tener una fuente auxiliar de tensión en C.C, por lo general está constituida por un banco de baterías (acumuladores) a bajos voltajes (6V, 9V, 12V, etc.)

5.8.1 Características de los relevadores

Dado que los relevadores constituyen el principal elemento de protección en los sistemas eléctricos, deben cumplir con ciertas exigencias fundamentales, entre las que se pueden mencionar:

- ❖ El relevador debe ser insensible a las sobretensiones momentáneas y también a las sobrecargas momentáneas
- ❖ El relevador no debe alterar su operación por variaciones en la tensión y en la corriente
- ❖ El consumo propio de potencia del relevador debe ser tan bajo como sea posible
- ❖ Su funcionamiento no debe ser alterado por cambios en la configuración de la red consignados como normales, por ejemplo: conexión y desconexión de cargas, entrada y salida de líneas, etc.
- ❖ El relevador debe operar cualquiera que sea la naturaleza y situación de la falla por la cual ha sido seleccionado

Las magnitudes a las cuales los relevadores de protección son sensibles para detectar la presencia de fallas son por lo general las siguientes:

- ❖ Aumento en la intensidad de la corriente
- ❖ Caída de tensión
- ❖ Disminución en la impedancia aparente

- ❖ Inversión en el sentido de la potencia
- ❖ Comparación en la magnitud de la corriente de entrada y salida o bien comparación en la fase

De acuerdo a la magnitud eléctrica que miden o controlan los relevadores se pueden clasificar genéticamente como:

- ❖ Relevadores de corriente
- ❖ Relevadores de voltaje
- ❖ Relevadores de cociente (impedancia V/I o admitancia I/V)
- ❖ Relevadores de frecuencia
- ❖ Relevadores diferenciales
- ❖ Relevadores de producto (potencia $V \times I$)

5.8.1.1 Relevador de corriente

Estos relevadores actúan por la acción de la intensidad de la corriente que circula a través de ellos, razón por la cual también se conocen como relevadores de tipo amperímetro y pueden ser de máxima corriente, en cuyo caso operan cuando la corriente del elemento protegido excede a un cierto valor previamente establecido o de mínima corriente, que operan cuando el valor de la corriente en el sistema protegido se encuentra debajo de un cierto valor previamente establecido.

5.8.1.2 Relevador de voltaje

Este tipo de relevadores funciona bajo el principio del voltímetro y actúa por la acción del voltaje al cual se ve sometido, es de máxima tensión cuando opera a alcanzar la tensión un valor superior al previamente fijado y de mínima tensión cuando opera si la tensión se encuentra por debajo al valor previamente fijado.

5.8.1.3 Relevador de cociente

Este tipo de relevador opera cuando el cociente de dos magnitudes eléctricas (por lo general corriente y voltaje) llega a cierto valor previamente fijado, a este tipo corresponden los denominados relevadores de mínima impedancia, que actúan cuando la impedancia del relevador dada por la relación $Z=V/I$ se encuentra por debajo del valor previamente fijado.

5.8.1.4 Relevador de frecuencia

Operan cuando el valor de la frecuencia en el sistema al cual se encuentran conectados varía con relación previamente establecida, dada la característica operativa de estos relevadores por lo general son del tipo inducción.

5.8.1.5 Relevador de producto

Actúan bajo la acción del producto de dos cantidades eléctricas, normalmente de corriente y voltaje, por lo que se les conoce también por el nombre de relevadores tipo wattmetro.

5.9 Calculo de la sub-estación, protecciones y corto-circuito.

5.9.1 Calculo de la capacidad del transformador

Ahora procederemos a hacer el cálculo de nuestro proyecto, ya que nosotros tenemos nuestros resultados en potencia activa (KW), transformaremos este valor a potencia aparente, consideraremos un F.P. de 0.85.

$$Pot. \text{ aparente} = \frac{1361.5 \text{ Kw}}{0.85} = 1601.8 \text{ kVA}$$

Este valor representa la potencia de todos los equipos eléctricos del edificio, por consiguiente serán los kVA instalados. Ahora sacaremos el factor de demanda del edificio, viendo las tablas **5.2 y 5.3**

$$Fac. \text{ demanda} = \frac{0.5 + 0.6 + 0.85}{3} = 0.65$$

Este valor de demanda fue calculado por 3 valores que se localizan en las tablas, ya que es un edificio de oficinas, utiliza motores para los elevadores y la carga de los aires acondicionados sería continua en la jornada laboral. Ahora calcularemos los kVA demandados.

$$kVA \text{ demandados} = 1601.8 \text{ kVA} (0.65) = 1041.17kVA$$

Calculando el factor de diversidad:

$$Fac. \text{ diversidad} = \frac{1041.17}{1601.8} = 0.65$$

Ahora calcularemos el valor del transformador, tomando en cuenta un Factor de crecimiento del 20%.

$$Cap. \text{ transformador} = 1601.8(.65) + 1601.8 (.2) = 1361.53 \text{ kVA}$$

Entonces requerimos que nuestra sub estación tenga los siguientes datos de placa:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

kVA	# Fases	Voltaje Primario (kV)	Voltaje Secundario (kV)
1500	3	13.8	.440/.220

Ya que contamos con los valores del transformador procederemos a calcular el valor de las cuchillas de protección del lado de alta tensión por medio de la siguiente expresión:

$$I A.T. = \frac{KVA}{\sqrt{3} (\text{Voltaje primario en KV})}$$

$$I A.T. = \frac{1500}{\sqrt{3} (13.8)} = 62.76amp$$

Por lo tanto se utilizaran cuchillas de 100A trifásicas para la protección de lado de alta tensión. Ahora pasaremos a calcular el valor de la corriente en el lado de baja tensión, se utilizara la misma expresión que en alta tensión con la única diferencia que se empleara el valor de voltaje secundario.

$$I B.T. = \frac{1500}{\sqrt{3} (.440)} = 1928amp$$

Calculando la corriente de protección será:

$$I_p B.T. = 1928(1.25) = 2410amp$$

Por lo consiguiente se utilizaran protecciones superiores a este valor para la corriente trifásica de baja tensión.

Como hemos visto arriba, para calcular el valor de la corriente positiva solamente se necesita el diagrama de secuencia positiva, a continuación se encuentra el diagrama del sistema con los valores de los MVA, voltajes y reactancias de cada elemento que conforma nuestra red, desde el generador hasta la sub-estación del edificio. (Los archivos de los cuales fueron obtenidos estos datos se podrán encontrar en la sección de Anexos).

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

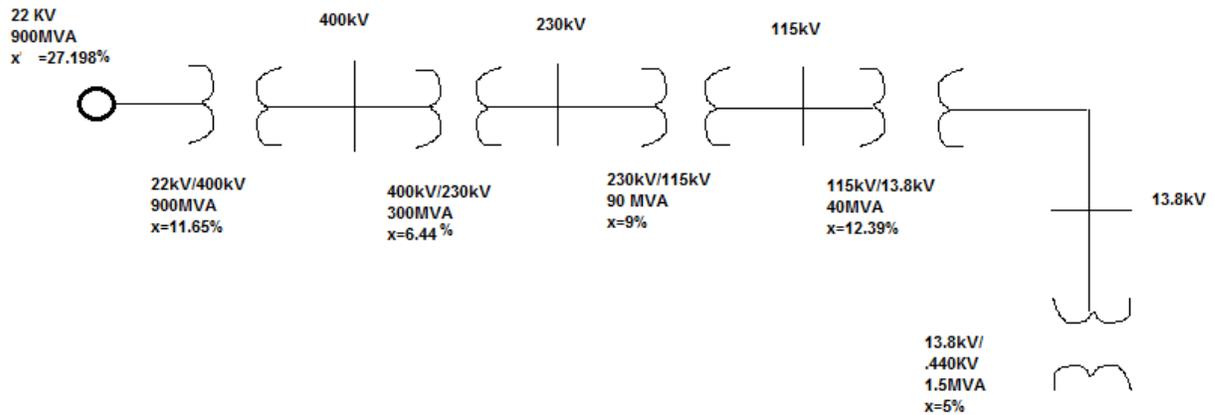


Figura.- diagrama unifilar de nuestro sistema

Ya que tenemos estos datos, podemos encontrar los valores por unidad de cada elemento, don de la potencia base que asignaremos es de $S_b=900\text{MVA}$ y $kV_b=13.8\text{kV}$ para alta tensión y $kV_b=.440\text{kV}$ baja tensión.

$$X_g = 0.27198 \left(\frac{900}{900}\right) \left(\frac{22}{22}\right)^2 = j0.27198$$

$$X_{T1} = 0.1165 \left(\frac{900}{900}\right) \left(\frac{400}{400}\right)^2 = j0.1165$$

$$X_{T2} = 0.0644 \left(\frac{900}{300}\right) \left(\frac{230}{230}\right)^2 = j0.1932$$

$$X_{T3} = 0.09 \left(\frac{900}{90}\right) \left(\frac{115}{115}\right)^2 = j0.9$$

$$X_{T4} = 0.1239 \left(\frac{900}{40}\right) \left(\frac{13.8}{13.8}\right)^2 = j2.78775$$

$$X_{T5} = 0.05 \left(\frac{900}{1.5}\right) \left(\frac{.440}{.440}\right)^2 = j30$$

Ahora que tenemos todos los valores por unidad, calcularemos el valor de la corriente de corto circuito en el lado de alta y en el de baja tensión por medio de las siguientes expresiones:

$$I_{p.u} = \frac{1}{X_g + X_{T1} + X_{T2} + X_{T3} + X_{T4} + X_{T5}}$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$I_{cc} = I_p \cdot u \left(\frac{S}{\sqrt{3} V_b} \right)$$

Pasando los resultados a estas expresiones tenemos:

$$I_p \cdot u = \frac{1}{0.27198 + 0.1165 + 0.1932 + 0.9 + 2.78775 + 30} = 0.02996$$

Corriente de cortocircuito de alta tensión:

$$I_{cc} = 0.02996 \left(\frac{900}{\sqrt{3}(13.8)} \right) = 1.1280KA$$

Corriente de cortocircuito de alta tensión:

$$I_{cc} = 0.02996 \left(\frac{900}{\sqrt{3}(440)} \right) = 35.3810KA$$

Como vemos, el valor de protección para cortocircuito que deben manejar los elementos de protección es de 1.2KA, y para los elementos de protección en el lado de baja tensión es de 35.5KA, estos valores es para la protección mínima.

6 Diseño del sistema de tierras del edificio.

Existen diversas situaciones en que disponer de una conexión a tierra es conveniente para un sistema eléctrico, bien para su adecuado funcionamiento (por ejemplo, dar una referencia firme a todos los potenciales del sistema), bien para tener una interacción no dañina con sistemas vecinos, uno de los cuales puede ser el hombre, que se sirve del sistema o trabaja sobre él.

De la tierra cabe resaltar 2 características contradictorias:

- ❖ Puede considerarse un conductor eléctrico muy pobre, si se le compara con la mayoría de los metales, como lo ilustra el hecho de tener una conductividad 10^{10} veces menores que el cobre, lo que dificulta la conducción de la corriente eléctrica.
- ❖ Fácilmente se dispone de un área enorme para realizar esa conducción, lo que para numerosos efectos prácticos la acerca suficientemente a la conducción de medio adecuado para transportar la corriente.

6.1 Objetivos del sistema de puesta a tierra

Para precisarlos, puede invocarse la norma IEEE Std 80 (2000:8), que establece los siguientes objetivos para una puesta a tierra:

- ❖ Asegurar que una persona en la vecindad de las instalaciones de la puesta a tierra no quede expuesta al peligro de un choque eléctrico crítico.
- ❖ Proveer medios para disipar corrientes eléctricas en la tierra, bajo condiciones normales o de falla, sin exceder límites operativos del sistema o equipo, o afectar adversamente la continuidad del servicio.

Lo anterior significa que para lograr una conexión a tierra segura es necesario un gran esfuerzo para controlar la interacción entre 2 sistemas de puesta a tierra:

- ❖ La conexión a tierra intencional, consiste en el uso de diferentes tipos de electrodos instalados a alguna profundidad bajo la superficie del suelo.
- ❖ La conexión a tierra accidental, establecida temporalmente por una persona expuesta a un gradiente de potencial en la vecindad de un equipo conectado a tierra.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Esta interacción se traduce en circuitos eléctricos en los que el cuerpo de la persona queda haciendo parte de los mismos y sufriendo los efectos de la corriente, que pueden ir desde apenas su percepción hasta ser causa de muerte.

Hay algunos otros objetivos, comprendidos en los ya expuestos; por ejemplo, los sistemas eléctricos deben estar conectados a tierra para:

- ❖ Limitar los voltajes debidos a descargas eléctricas atmosféricas
- ❖ Limitar los voltajes debidos a maniobras
- ❖ Limitar el voltaje debido a contacto no intencional con sistemas de mayor voltaje
- ❖ Estabilizar el voltaje a tierra durante la operación normal
- ❖ Facilitar la operación de dispositivos de sobre corriente, en caso de falla a tierra.

6.2 Puesta a tierra de los sistemas de potencia

En un sistema eléctrico de transporte de energía, la decisión sobre la conexión o no del neutro a tierra, y la forma de realizarlo, implica un compromiso entre sobretensiones y sobrecorrientes.

Considerando ambos extremos, se producen mayores sobretensiones en un sistema aislado de tierra y mayores sobrecorrientes en un sistema sólidamente puesto a tierra (impedancia de conexión nula).

Lo anterior exige numerosas consideraciones, principalmente relacionadas con el comportamiento de una de las fases durante las fallas a tierra, frecuentemente resultante de un rayo sobre la red aérea. En todo caso, es prioritario que el método seleccionado garantice una rápida extinción del arco resultante de una falla a tierra, evitando al máximo una interrupción del servicio.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

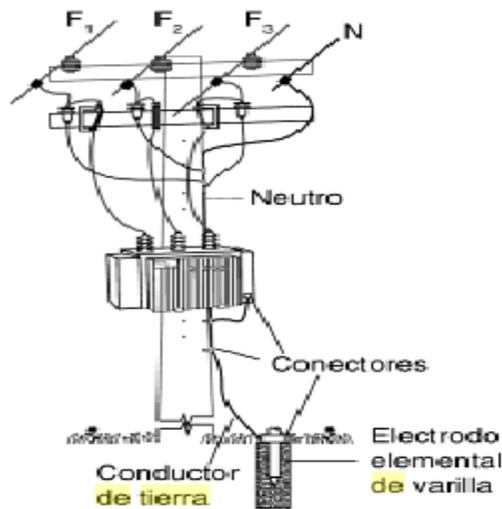


Figura 6.1 Componentes de una puesta a tierra elemental

En el caso de no existir neutro conectado a tierra, al presentarse falla a tierra circula una corriente capacitiva, cuyo valor es proporcional a la capacitancia a tierra total del circuito; cuando esta es baja, la corriente en una falla simple a tierra es de solo unos pocos amperios y la presencia del corto no afecta el servicio, permitiendo mantenerlo en lo que se resuelve la situación, lo que, además, se ve favorecido porque el arco que se haya podido producir es inestable a esta baja corriente y se extingue rápidamente. Al aumentar la capacidad del sistema, la situación cambia, pues la corriente de corto aumenta, el arco no se extingue fácilmente y por la acción del viento y la transferencia de calor, puede aumentar su campo de acción y provocar fallas adicionales en una o más fases, obligando a la interrupción del servicio.

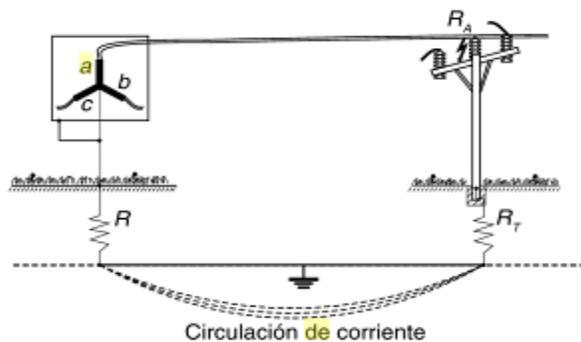


Figura 6.2 Circuito de corriente de falla fase-tierra
(a, b y c fases)
(R, Rt resistencias de puesta a tierra)
(Ra resistencia de falla)

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Por lo general, las consideraciones básicas para la selección del esquema de conexión a tierra son las siguientes:

- ❖ Sensibilidad y selectividad de relés de tierra
- ❖ Limitación de la corriente de falla a tierra
- ❖ Grado requerido de protección contra sobretensiones (supresores)
- ❖ Limitación de las sobretensiones transitorias fase-tierra
- ❖ Seguridad

Para apoyar la determinación del método de conexión a tierra, se han establecido parámetros, como el coeficiente de conexión a tierra y el factor de falla a tierra, que a su vez pueden caracterizar un sistema como: sólidamente, efectivamente o no efectivamente puesto a tierra, o con neutro sin referenciar a tierra (neutro aislado) y la conexión a tierra puede hacerse por diferentes medios.

Sólidamente puesto a tierra.-es conectar directamente el neutro a través de una conexión adecuada a tierra, en la cual no se ha insertado de manera intencional una impedancia.

Efectivamente puesto a tierra.-es conectar el neutro a través de una impedancia lo suficientemente baja como para que el coeficiente de conexión a tierra no exceda el 80%. Se busca con esto una corriente de corto-circuito inductiva y de suficiente magnitud para hacer entrar en acción rápidamente los relés de protección, con lo cual se evita la propagación de la falla a otras fases y el daño de aisladores, pudiendo la línea ser puesta en operación casi inmediatamente.

Las consideraciones expuestas aquí sobre conexión a tierra son válidas principalmente para sistemas de transmisión o de distribución. Para instalaciones industriales y comerciales, hay otros criterios y otras referencias que pueden servir de apoyo.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

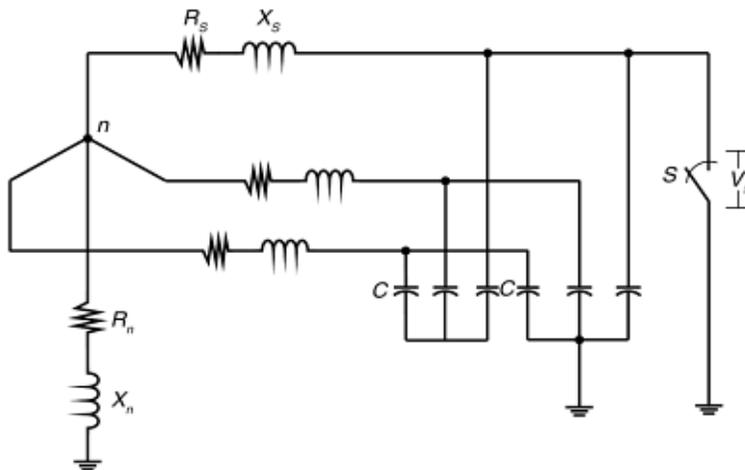


Figura 6.3 Circuito para análisis de puesta a tierra de sistemas de potencia (Rs y Xs; resistencia y reactancia de cada fase; Rn y Xn; resistencia y reactancia neutrotierra en la fuente C; capacitancia entre fases o fase-tierra; Vf; tensión en el punto de falla)

6.3 Parámetros eléctricos del suelo.

Los parámetros más determinantes del comportamiento eléctrico del suelo son:

- ❖ La resistividad, o su inverso, la conductividad
- ❖ La permitividad o constante dieléctrica (ϵ [F/m]), expresada frecuentemente por su valor relativo a la del vacío ($\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$; $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-9}$ [F/m]);
- ❖ La permeabilidad magnética (μ [H/m]), expresada frecuentemente por su valor relativo a la del vacío ($\mu_r = \mu/\mu_0$; $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6}$ [H/m]).

Estos parámetros no son constantes ni en el espacio ni en el tiempo o la frecuencia. Sus variaciones dependen principalmente de:

- ❖ ρ , frecuencia, humedad del suelo, sustancias disueltas (principalmente las sales) y temperatura
- ❖ ϵ_r , frecuencia, humedad del suelo
- ❖ μ_r , aproximadamente constante (=1)

La variación con la frecuencia no puede perderse de vista al pasar del análisis de fenómenos a frecuencia industrial (en las cuales se realizan las mediciones de campo), como la falla fase-tierra, a fenómenos rápidos como las descargas atmosféricas, que involucran frecuencias hasta del orden de los MHz.

6.3.1 Resistividad del suelo

Se define como la resistencia que hay entre las caras de un cubo, que tiene de lado 1m, el cual es llenado con el suelo que se desea analizar, sus unidades son Ohm-metro (Ωm), entonces se tiene que:

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad \text{o} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

donde R es la resistencia medida entre las caras del cubo, L es la longitud del cubo, A es el área transversal del cubo (o L^2) y la ρ es la resistividad de la muestra de suelo, supuesto homogéneo.

La resistividad (ρ) del suelo varía dependiendo de su composición y de algunas condiciones físicas. Sus valores se encuentran desde unos pocos hasta millones de ohmios metro. Los suelos orgánicos suelen tener bajos valores, y las rocas, muy altos.

Aunque la resistividad del suelo es afectada por numerosos factores, los que principalmente la determinan:

- ❖ Tipo de suelo
- ❖ Composición química de las sales disueltas en el agua contenida
- ❖ Contenido de humedad
- ❖ Compactación
- ❖ Tamaño y distribución del grano
- ❖ Temperatura

A continuación mostraremos algunas consideraciones sobre estos factores

6.3.1.1 Tipo de suelo

No hay una definición clara de los diferentes tipos de suelo; por ello no es posible dar valores específicos de resistividades por tipo de suelo. Se han caracterizado franjas de valores característicos para diferentes tipos de suelo en condiciones de humedad normal o natural y a baja frecuencia.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

<i>Material</i>	<i>Resistividad (Ωm)</i>
Agua salada	0,01-1
Lama	5-10
Suelo orgánico	5-200
Humus	10-150
Arcilla	10-300
Agua de río	10-300
Gneises descompuestos	50-500
Rocas calcáreas	100-2.000
Tierra de jardín	140-480
Rocas cristalinas	20.000-1.000.000
Caliza fisurada	500-1.000
Caliza compacta	1.000-5.000
Granitos y basaltos	1.000-50.000
Arena común	3.000-8.000

Tabla 6.1 Rangos de valores de resistividad típicos

Tipo de terreno	$\rho\Omega\text{-m}$
Agua de Mar	1
tierra organica humeda	10
Suelo húmedo	10^2
Suelo seco	10^3
Concreto	10^3
Cama rocosa	10^4
Granito	10^7
Roca Arenisca	10^8

Tabla 6.1.1 Complemento de los valores de resistividad

La amplia variación de la resistividad he hecho que se intenten clasificaciones que faciliten tener una primera idea de la calidad del terreno.

Clase A (arcilloso): suelo blando acido; de baja resistividad (50 a 200 Ωm), presenta una acción corrosiva alta

Clase B (arenoso): suelo seco, fácil de trabajar, mediana resistividad, entre 500 y 1000 Ωm .

Clase C (rocoso): suelo de rocas duras, alta resistividad, normalmente entre 1000 a $10000\Omega\text{m}$

6.3.1.2 Humedad y salinidad del suelo

La resistividad es inversamente proporcional a la humedad del terreno, debido a que la conducción de la corriente en el suelo es esencialmente electrolítica. Esto se evidencia por la drástica elevación de la resistividad cuando la humedad disminuye mucho, mostrando que la conducción se realiza a través del agua contenida; en los intersticios de las partículas del suelo deben existir 2 sustancias para que se establezca el electrolito, como la sal y el agua.

La resistividad del agua está gobernada por las sales que están disueltas en ella; por ende, la resistividad del suelo es influenciada por la cantidad y tipos de sales disueltas en el suelo, condición en la cual se presenta la conducción electrolítica. La cantidad de agua varía de acuerdo con el clima y la época del año, la temperatura y la existencia de depósitos subterráneos.

Las condiciones climáticas afectan esencialmente las capas más exteriores del suelo, la llamada *capa vegetal*. Por otra parte, se presenta una variación de la resistividad con la profundidad, que puede ser mayor o menor dependiendo de la estructura geológica de la región. Para efectos de los sistemas de puesta a tierra, interesan profundidades desde unos pocos hasta algunas centenas de metros, dependiendo de las longitudes de los electrodos que la configuran. Esto es determinante en los métodos de medición de la resistividad y en los modelos de suelo utilizados para el estudio del comportamiento de las puestas a tierra, modelos que deben ser capaces de considerar la resistividad encontrada hasta la profundidad de interés para el sistema de puesta a tierra específico.

6.3.1.3 La compactación del suelo

Un suelo compacto presenta mayor continuidad y, por tanto, menor resistividad; con el aumento de la presión sobre el terreno hay mayor compactación. Si la granulometría del suelo es gruesa tiende a aumentar la resistividad, dado que disminuye la retención del agua y, además, al haber menos contacto entre los granos hay menor continuidad eléctrica.

6.3.1.4 Temperatura del suelo

Un aumento de temperatura, dentro de los rangos normales de temperatura ambiente, influye sobre la velocidad de movimiento de los iones, al facilitar la conducción eléctrica y, por tanto, disminuye la resistividad. Sin embargo, una temperatura más elevada, cerca

de los 100°C, provoca evaporación, disminuye la humedad del suelo y aumenta la resistividad. Al bajar la temperatura, debe notarse también el salto en aumento de la resistividad, al alcanzar 0°C, debido al apareamiento de hielo, el cual tiene una alta resistividad, asociada a su carácter cristalino.

La modelación del suelo es un paso fundamental para el diseño de puesta a tierra y el análisis de su comportamiento.

6.3.2 Permitividad eléctrica o constante dieléctrica (ϵ)

Es una medida de la facilidad de polarización de un material en un campo eléctrico. Cuantifica el efecto del medio sobre las fuerzas de atracción de 2 placas cargadas con polaridades diferentes. La unidad de medida en Farad-metro.

La permitividad posee importancia al estudiar los fenómenos transitorios, debido a la variación de este parámetro con la frecuencia y el contenido de humedad, lo que influencia la propagación de la corriente en el suelo.

6.3.3 Permeabilidad magnética (μ)

Es la relación entre la inducción magnética y la intensidad de campo magnético. En la mayoría de las aplicaciones de los sistemas de puesta a tierra no es un factor determinante, pues en los suelos presenta un valor muy cercano al del vacío y por tal motivo se asume $\mu_r=1$

6.3.4 Parámetros eléctricos en función de la frecuencia

Los parámetros eléctricos del suelo varían con la frecuencia. Esta variación se presenta significativamente en variables críticas del comportamiento de las puestas a tierra ante excitaciones impulsivas o de alta frecuencia, como la impedancia o las tensiones que aparecen en el suelo o en los equipos puestos a tierra.

6.4 Electrodo

Con el término “electrodo” entendemos un cuerpo metálico puesto en íntimo contacto con el terreno y dispensado a dispensar en el mismo las corrientes eléctricas. Puede estar constituido por un solo elemento o por diversos elementos conectados entre sí, mediante conductores enterrados y no aislados del terreno.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Según las características del terreno (mayor o menos posibilidad de hundir profundamente los cuerpos metálicos puestos en íntimo contacto con el mismo) se dispone de los siguientes tipos de electrodos:

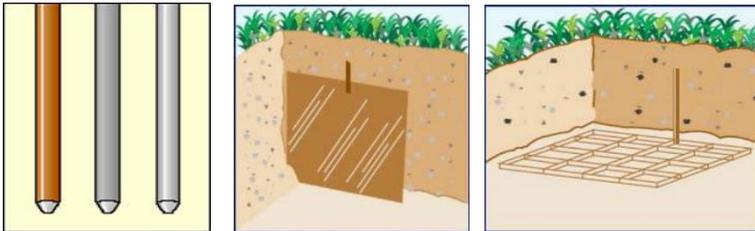


Figura 6.4 Tipos de electrodos.

6.4.1 Influencia recíproca

- ❖ La resistencia de tierra de una pica depende mucho más de su longitud (profundidad de penetración) que de las dimensiones transversales, si se alcanza la capa freática (capa de agua) la resistencia de la tierra disminuye sensiblemente. Para los electrodos en forma de placa, la resistencia de tierra depende de sus dimensiones y en electrodos de malla de la longitud total de los conductores que la conforman.
- ❖ No es posible obtener valores bajos de resistencia de tierra sólo con aumentar el número de picas y sin tener en cuenta sus respectivas áreas de influencia

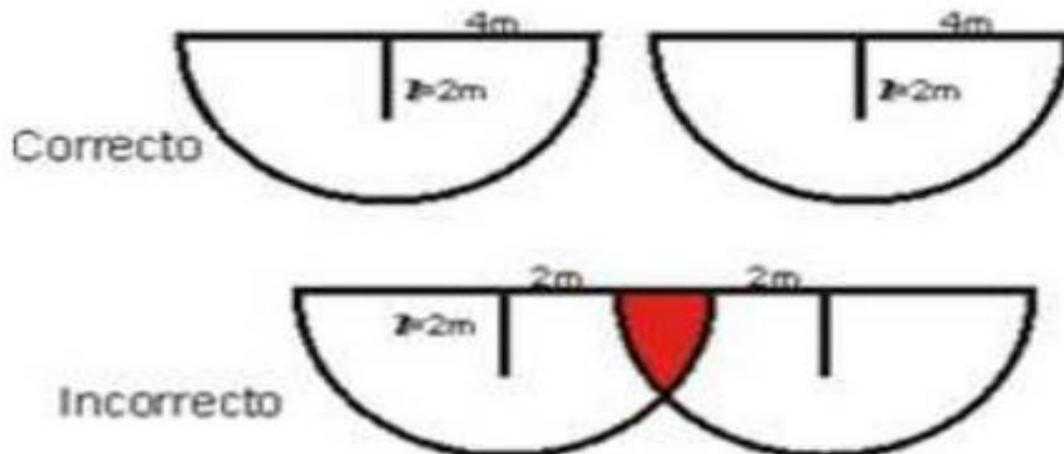


Figura 6.5 Influencia Recíproca

Podemos considerar que 2 picas de distinta longitud no se influyen recíprocamente cuando la distancia que las separa es por lo menos o igual a 5 veces la longitud de la pica mayor. La independencia de los electrodos es

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

condición fundamental para el cálculo en paralelo de sus respectivas resistencias de tierra.

El mismo concepto es válido para los electrodos de placa.

- ❖ Para conectar en paralelo electrodos en pica o placas, empleése trenza de cobre o de acero galvanizado o cobreado, con un diámetro no inferior a los indicados en la sig. Tabla:

Electrodo	Acero galvanizado	Cobre	Acero cobreado
Alambre	Ø10 (78) Ø12 (113)	Ø7.5 (45) Ø9 (63) Ø10 (78)	Ø8.42 (55) Ø11.24 (99)
Cable	Ø7.5= 7x2.52 (35) Ø10.5= 19x2.1 (66)	Ø7.5= 7x2.52 (35) Ø10.5= 19x2.1 (66)	Ø8= 7x 2.58 (36) Ø10= 19x2.05 (63) Ø13=19x2.58 (100)
Pletina	40x3 / 4 (120-160)	40x3 / 4 (120-160) 50x4 (200)	
Pica Tubo	Ø48x5 Ø60.8x5.9		
Pica Varilla	L 50x50x5 T 50x50x6		
Pica Perfil Redondo			Ø 9 / 25

Tabla 6.2.- Dimensiones de los electrodos (expresadas en milímetros) Números entre paréntesis indican las secciones (expresadas en mm²) Para los cable, además del diámetro circunscrito, se indica también la composición, o sea, el número de hilos y su correspondiente diámetro (ej. 7x2.5=7 hilos de 2.52mm de diámetro).

Dicha trenza o cable, se enterrara en el suelo a una profundidad de 50 cm, por lo menos, a fin de que no pueda resultar dañada a consecuencia de eventuales esfuerzos mecánicos y para reducir la tensión de paso en la superficie.

6.4.2 Voltajes que pueden incidir en el ser humano

Las características funcionales de una puesta a tierra o red de tierra pueden tener una precisión conveniente ocasionando conjuntamente la tensión de tierra $V_t=R_t(I_t)$ con las tensiones de paso y de contacto.

- ❖ Tensión de paso V_p .- Se define como la tensión que durante del funcionamiento de una red de tierras pueden resultar entre el pie de una persona apoyada en el suelo a la distancia de 1m (1 paso) o entre un pie y el otro en forma convencional.

- ❖ Tensión de contacto V_c .- Es la tensión a la cual se puede ver sometido el cuerpo humano por contacto con una carcasa o estructura metálica que normalmente no está en tensión de una maquina o aparato.

Como se sabe, una corriente eléctrica que circula por el cuerpo humano puede producir un efecto más o menos grave e incluso la muerte según la intensidad y duración. Por una persona puede circular corriente por contacto directo con partes que retengan tensión, normalmente o por contacto con partes de una instalación que encontrándose normalmente sin tensión, en ocasiones se pueden encontrar en tensión por fallas de aislamiento o fallas a tierra, por ello es necesario reducir al mínimo los contactos directos y hacer que los contactos indirectos no resulten peligrosos.

Las corrientes inferiores a 1 o 2mA no producen ningún disturbio y no resultan peligrosas, con las corrientes entre 2 y 3mA se advierte una contracción creciente en los músculos con la sensación de deseo. Para corrientes entre 10 y 20mA los músculos se ponen rígidos y se pueden producir desgracias ante la imposibilidad de soltarse de las partes en tensión que se tocan.

6.4.3 Clasificación de las redes de tierra.

Por lo general las normas internacionales dividen a las redes de tierra en las clases siguientes:

- ❖ Puesta a tierra para protección: Partiendo de la base de que es necesario conectar eléctricamente al suelo todas aquellas partes de las instalaciones eléctricas que no se encuentran sujetas a tensión normalmente, pero que pueden tener diferencias de potencial a causa de fallas accidentales, tales partes pueden ser: *tableros eléctricos, tanques de transformadores o interruptores, carcasas de las maquinas eléctricas, estructuras metálicas de sub-estaciones o líneas de transmisión y todos los soportes metálicos de equipos y aparatos.*
- ❖ Puesta a tierra para funcionamiento: Partiendo de la base que es necesario establecer una conexión a tierra en determinados puntos de la instalación eléctrica con el fin de mejorar el funcionamiento, una mayor seguridad o una mejor regularidad de operación, estos puntos del sistema por conectar a tierra pueden ser: *conexión a tierra de los neutros de alternadores de los transformadores en los devanados conectados en estrella, conexión a tierra de los aparta-rayos de los hilos de guarda, transformadores de potencia y algunos otros.*
- ❖ Puesta a tierra para trabajo: Con frecuencia durante las actividades de trabajo en una instalación eléctrica como son mantenimiento, ampliaciones, reparaciones, etc., es necesario realizar conexión a tierra temporales con partes de la instalación

puestas fuera de servicio con el fin de que sean accesibles sin peligro para los trabajos a realizar.

En cualquiera de los casos de puesta a tierra mencionados anteriormente no se deben exceder las “Tensiones de seguridad” establecidas e indicadas en el punto correspondiente.

6.4.4 Dimensionamiento de la red de tierra

El problema del dimensionamiento de una red de tierras consiste en el cálculo de un conjunto de elementos dispensores convenientemente conectados de manera que se tenga una resistencia de tierra resultante:

$$R_t \leq \frac{V_t}{I_t}$$

Siendo V_t la máxima tensión admisible a tierra y que corresponde a la máxima corriente de la tierra I_t .

La forma típica de un dispensador que se usan más convenientemente en la práctica para obtener una resistencia de tierra R_t se indican a continuación:

- a) Dispensador cilíndrico o varilla tubular de radio R enterrado verticalmente en el suelo con una longitud L

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right)$$

- b) Dos tubos enterrados a una distancia S uno de otro:

Si $S > L$

$$R_t = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{4L}{r} - 1 + \frac{L}{S} - \frac{L^3}{3S^3} + \frac{2L^5}{5S^5} \right]$$

Si $S < L$

$$R_t = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{(4L)^2}{r^5} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right]$$

- c) Conductor o anillo de radio dispuesto en anillo de diámetro D enterrado horizontalmente a la profundidad $S/12$

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{16D^2}{rS} \right)$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

d) Placa rectangular ancho A, espesor $B < \frac{1}{8} A$ y longitud 2L enterrado en forma horizontal a una profundidad S/2

$$R_t = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{16L^2}{AS} + \frac{A^2 - AB}{3(A+B)^2} - 1 + \frac{S}{2-L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right]$$

Si el conductor de tierra forma parte o no de los conductores de fase o se encuentra contenido o no en el mismo cable la sección del conductor de tierra se calcula elevando la corriente de falla a tierra entre la densidad de corriente del material usado; es decir:

$$S = \frac{I}{A}$$

Dónde:

I.- Corriente de falla en amperes

A.- Densidad de corriente en amperes/m²

$S = \frac{I}{160}$ (con un mínimo de 16mm ²) para conductor de cobre
$S = \frac{I}{100}$ (con un mínimo de 35mm ²) para conductores de aluminio
$S = \frac{I}{60}$ (con un mínimo de 50mm ²) para conductores de acero

Tabla 6.3 Calculo de sección de conductor de tierra de los dispensores.

Si en lugar de usar dispensores se usan conductores para formar una malla, la longitud total del conductor que formara la malla se calcula a partir de la expresión para determinar la tensión de contacto:

$$V_c \approx 0.1\rho \frac{I}{L}$$

Dónde:

ρ = Resistividad del terreno

I= Máxima corriente de falla a tierra.

L=Longitud total del conductor de la malla

En donde:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

$$L = \frac{0.7\rho I}{Vc}$$

La tensión de paso resultante se obtiene de la fórmula:

$$Vp = 0.16 I/L$$

Si el área interesada por lados L1 y L2 por lo general la longitud total del conductor de tierra se distribuye como una cuadrícula enterrada a 0.5 a 1m, la distancia a que se localizan los conductores que forman la cuadrícula se calcula:

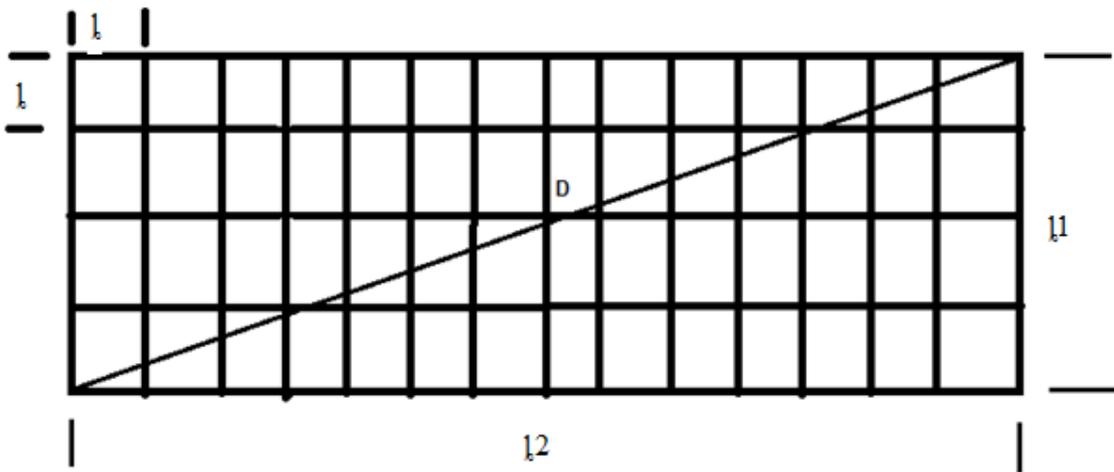


Figura 6.6 Variables de una malla de sistema de tierra.

La longitud total del conductor de tierra suponiendo que es un rectángulo con periferia L se expresa:

$$L = l_1 \left(\frac{l_2}{b} + 1 \right) + l_2 \left(\frac{l_1}{b} + 1 \right)$$

Desarrollando:

$$L = \frac{2l_1l_2}{b} + l_1 + l_2$$

Donde la longitud a la que hay que formar la cuadrícula es:

$$b = \frac{2l_1l_2}{L - l_1 - l_2}$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

De la figura anterior D representa la diagonal de la red de tierras y sirve para calcular gradientes de potencial máximas que se localizan en la periferia de la instalación calculándose:

$$Gp = \frac{\rho I}{\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Las tensiones de contacto para efectos de cálculo se consideran que pueden variar de un mínimo de $0.4 \rho I/L$ en la parte interna de la red a un máximo de $1.5 \rho I/L$.

La resistencia total de tierra se calcula de la siguiente manera:

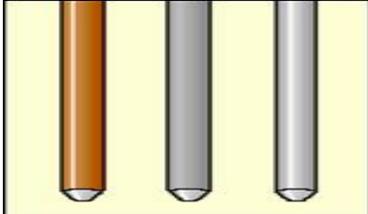
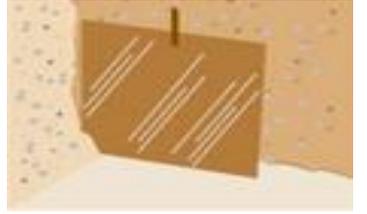
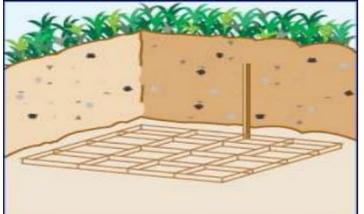
PICA	ANILLO ENTERRADO	MALLA
		
<p>I=profundidad de penetración(m) $Rt \approx \frac{\rho t}{I}$</p>	<p>P=perímetro (m) $Rt \approx \frac{2\rho t}{P}$</p>	<p>L=suma de todos los lados que componen la malla (m) $Rt \approx \frac{\rho t}{L}$</p>

Figura 6.7 Formulas para calcular la resistencia de tierra total.

6.4.5 El método de Werner

En este método se dispone de 4 electrodos, colocados en línea recta y equidistante, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, no siendo necesario que la profundidad de las picas sobrepasen los 30 cm.

Se utiliza un aparato de medición llamado telurómetro, en donde los dos electrodos de los extremos son los de la inyección de la corriente de medida, I, y los dos centrales, los electrodos de medida del potencial.

El punto de medida de la resistividad se encuentra en el medio de un sistema simétrico, entre los electrodos de potencial, llamándose base de medida a la distancia 'a' entre dos electrodos adyacentes y línea de emisión a la distancia entre los electrodos extremos.

Por lo cual la fórmula es:

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} R = 2\pi a R \text{ o } \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}}$$

En relación con este método deben tenerse presentes los siguientes aspectos:

- ❖ Noción de la profundidad de la investigación.- La densidad de la corriente en el suelo decrece regularmente cuando aumenta la profundidad en la vertical de los dos electrodos centrales de medida del potenciar ya que la corriente penetra tanto más profundamente en el suelo cuanto más alejados estén los electrodos de inyección.
- ❖ Elección de la profundidad de investigación.- Cuanto mayor extensión ocupe el electrodo de tierra, mayor será la profundidad del suelo de cuyas características depende las de la red de tierra. Por otro lado, el reparto de potencial en la superficie es función, principalmente, de la resistividad de las capas de terreno superficial mientras que la resistencia de tierra no depende tanto.

6.4.6 Diseño de un sistema de tierras

La malla debe trazarse de manera que todos los neutros, equipos, aparatos, gabinetes, estructuras, etc., tengan una conexión corta y que esta conexión este dentro del sistema de tierras.

A continuación se mostraran algunas fórmulas complementarias para poder realizar los cálculos de tierra efectivamente.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

FORMULAS	VARIABLES	CONCEPTO
$I_g = S \sqrt{\frac{\log_{10}\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}{33T_g}}$	I _g = Corriente que circula por la red de tierras (amp) T _g = Tiempo de duración de la falla S= Sección mínima del conductor (c.μ) T _a = Temperatura ambiente (40°C) T _m = Temperatura permeable de la red	Corriente que circula en la red de tierra.
$S = \left(\frac{c. \mu}{A}\right) I_g$	c.μ= circular min	Sección transversal del conductor
$V_m = K_m K_i \rho_{s1} \frac{I_g}{l}$	K _m = Coeficiente que toma en cuenta los parámetros de diseño de la red y su porción activa (n-2) K _i = Factor de corrección que toma en cuenta la distribución irregular de la corriente (0.65+0.172n)	Voltaje en la malla de tierra
$V_c = \frac{116 + 0.17 \rho_{s2}}{\sqrt{t}}$	V _c = Voltaje de Contacto	Voltaje de Contacto
$L = l = \frac{K_m K_i \rho_{s1} I_g \sqrt{t}}{116 + 0.17 \rho_{s2}}$	L ≥ longitud real de los conductores enterrados + transversales + longitudinales + varillas de tierra.	Si igualamos V _m =V _c
$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{5}{6}\right) \left(\frac{7}{8}\right) \dots$		
$R_t = \frac{\rho_{s1}}{4 \sqrt{\frac{A}{\pi}}} + \frac{\rho_{s1}}{L_r}$		Resistencia de la red de tierras
$E_{max} = R_t(I_g)$		Tensión Máxima de Transferencia
$E_s = K_s(K_i)(\rho_{s1}) \frac{I_g}{L_r}$		Tensión de paso en el piso adyacente a la red
$L_r = L(\text{nelec.}) + \text{ancho}(\text{nelec}) + \Sigma \text{elec}(3)$		
$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \right)$		

Tabla 6.4 Formulas que se aplican para el calculo de tierras

Como podemos observar en la tabla muchas fórmulas están compuestas de algunas otras contenidas en la misma tabla, pero en el caso del coeficiente K_i existen algunos valores preestablecidos para algunos de sus términos, dichos valores se presentan en la siguiente imagen:

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

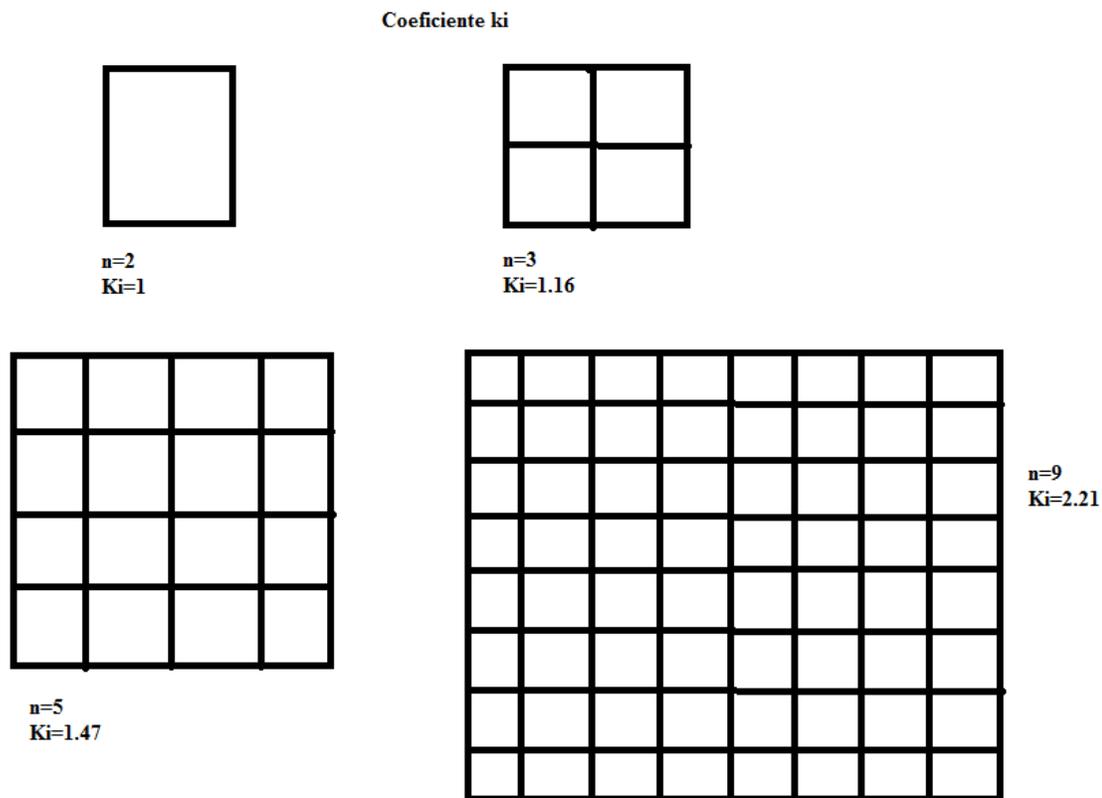


Figura 6.8 Valores de K_i para valores de n

Figura 6.8 Valores de coeficiente K_i

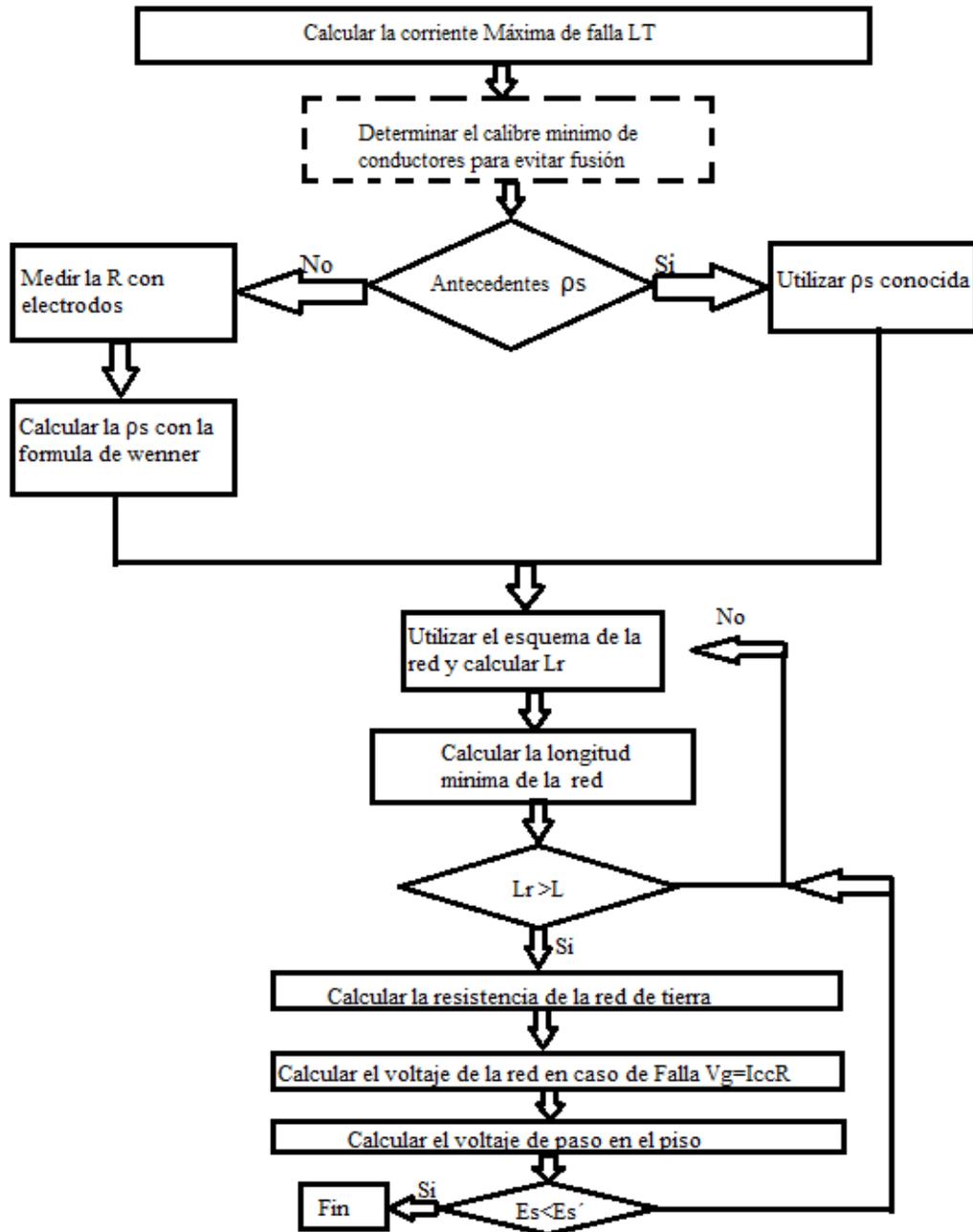
También hay que tomar en cuenta las siguientes tablas:

TG	c	μ	$/\Delta$
			Tipo de Conexión
	Cable		Soldada Atornillable
30	40	50	65
4	14	20	24
1	7	10	12
.05	5	6.5	8.5

	T_m
Cable	1083°C
Juntas soldables	450°C
Juntas atornillables	250°C

6.4.6.1 Secuencia del cálculo de redes de Tierra.

A continuación se presentara un diagrama de flujo para establecer los pasos que se deben seguir para el correcto cálculo de una red de tierra.



6.4.7 Calculo del sistema de tierras del edificio

Para hacer el cálculo de nuestra red de tierras tomaremos valores que previamente ya habíamos estimado, los cuales serán enlistados a continuación:

$$A=2204\text{m}^2$$

$$I_{cc}= 35310\text{amp.}$$

Además de estos valores, comenzaremos a definir los términos faltantes por las tablas contenidas en este capítulo, estos términos se presentan a continuación:

$\rho_{s1}=30\Omega$, ya que el tipo de terreno que estamos considerando es arcilloso.

$\rho_{s2}=10000\Omega$, ya que se está considerando una cama rocosa.

$t= 0.5$, es el tiempo que durara la falla

El tipo de conexión a tierra será por cable, así que según la tabla del tiempo de falla el valor para este tipo de conexión es 5.

Recordando que el voltaje de nuestra sub-estación es de 13.8Kv/0.44Kv, se realizaran los cálculos pertinentes para saber que nuestra red de tierra está bien calculada:

$$S=5(35310)=176550\text{c}\mu/\Delta$$

Ahora lo transformaremos a mm^2

$$S=176550(0.00051)=90.0405\text{mm}^2$$

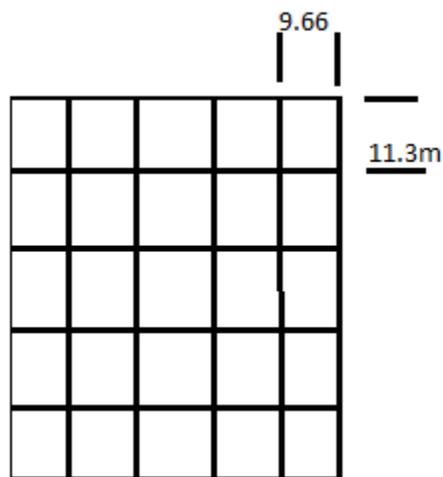
Revisando las tablas de conductores el calibre más conveniente es 4/0

Ahora calcularemos el número mínimo de electrodos que debemos emplear en nuestro sistema de tierras:

$$\# \text{ electrodos } = 0.6\sqrt{2204} = 28.17$$

El número de electrodos mínimo que necesitamos es de 28, pero por simetría nuestro valor $n=6$, por lo cual nuestro número total de electrodos que utilizaremos será de 36 electrodos.

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.



$$L_r = 6(58) + 6(68) + 36(3) = 864m$$

Ahora calcularemos la longitud por medio de fórmula, pero primero determinaremos los valores de K_m y K_i , donde $h=0.5$, $d=1.16 \times 10^{-2}$ y $D=11.3$

Recordando que $K_m = n - 2 = 6 - 2 = 4$ términos se utilizarán en esta fórmula

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{11.3^2}{16(0.5)(11.3)} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) \left(\frac{5}{6} \right) \left(\frac{7}{8} \right) \left(\frac{9}{10} \right) = 0.924$$

$$K_i = 0.65 + 0.172(6) = 1.682$$

$$L = \frac{(0.924)(1.682)(30)(35310)(\sqrt{5})}{116 + 0.17(10000)} = 641.041m$$

Como lo podemos checar en el diagrama de flujo, el valor de L_r debe ser mayor que el valor de L para poder pasar a calcular la resistencia, en nuestro caso esto se cumple, así que pasamos a calcular la resistencia de la red y los voltajes de la red y de paso.

$$r = \sqrt{\frac{2204}{\pi}} = 26.49mts$$

$$R = \frac{30}{4(26.44)} + \frac{30}{864} = 0.32\Omega$$

$$V_r = 0.32(35310) = 11299.2V$$

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Ahora para calcular el voltaje de paso, debemos determinar el factor K_s :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2(.5)} + \frac{1}{11.3 + .5} + \frac{1}{2(11.3)} + \frac{1}{3(11.3)} + \frac{1}{4(11.3)} + \frac{1}{5(11.3)} \right) = .3815$$

$$E_s = (.3815)(1.682)(30) \left(\frac{35310}{864} \right) = 786.73V$$

$$E_{s'} = \frac{116 + 0.7(10000)}{\sqrt{.5}} = 10063.54V$$

Como se muestra en el diagrama de flujo, $E_{s'}$ debe ser mayor E_s , por lo cual podemos ver que nuestro cálculo de red de tierra está correcto, con esto terminamos los cálculos de los sistemas de nuestro edificio.

CONCLUSIONES

En todo tipo de construcción los sistemas eléctricos deben estar calculados y bajo las designaciones constituidas en las normas oficiales que rigen nuestro país.

La necesidad de que los edificios cuenten con las instalaciones bajo los estatutos dictados es muy importante, por eso el diseño aquí presentado se rige a las normas del país.

La población que dependerá directamente del diseño es de 800 a 1000 trabajadores, por lo cual el diseño eléctrico está calculado para alimentar las necesidades del inmueble y para ampliar en caso que se requiera en un 10% la población del edificio.

Este trabajo puede abrir la puerta para algunas mejoras a dicho diseño eléctrico aquí presentado, ya que los avances tecnológicos nos permitirán desarrollar un inmueble lo suficientemente modernizado en todos los sistemas eléctricos y también poder tener un ahorro energético y económico con dichos avances.

Los cálculos fueron realizados bajo las formulas contenidas en este trabajo, solamente para la iluminación se empleó el diseño de la planta baja del edificio, el programa Dialux se empleó para tener una visualización de los niveles de iluminación que se calcularon y que están estipulados en la NOM-025-STPS-2008.

Ya que en un inmueble como en el que se menciona en este trabajo se desarrollan trabajos muy importantes para las firmas que desempeñan sus funciones dentro de las instalaciones del inmueble y dependen directamente del sistema eléctrico que proponemos, nuestro trabajo se refleja directamente en ganancias o pérdidas de dichas firmas.

BIBLIOGRAFIA

Tecnología del Instalador Electricista

(José Rendón Viloría) 2006

Manual de Conductores Eléctricos Viakon

(Viakon), 2014

Fundamentos de Instalaciones Eléctricas

(Joseph. H. Foley), 1983

Instalaciones Eléctricas Tomo 2

(Albert F. Spitta), 1975

Elementos de diseño de sub-estaciones eléctricas

(Gilberto Enríquez Harper), 2004

Diseño de sub-estaciones eléctricas

(José Raull Martin), 1987

Compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos

(Juan Antonio Yebra Morón), 1987

Instalaciones eléctricas: Conceptos básicos y diseño

(Neagu Bratu Serban), 1992

Manual de baja tensión: criterios de selección de aparatos de maniobra e indicaciones para el proyecto de instalaciones y distribución.

(Marcombo), 2000

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.

Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra: Respuestas ante fallas eléctricas y rayos

(German Moreno Ospina), 2007

Diario Oficial de la Federación

(www.dof.gob.mx/)

Anexo

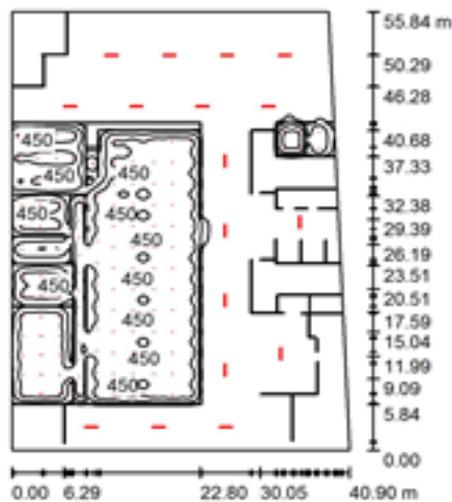
Esta sección contendrá algunos de los resultados que se obtuvieron por medio de programas y también contiene algunos elementos referentes a las normativas que mencionamos en el capítulo 1.

Proyecto 1

DIALux
22.05.2016

Proyecto elaborado por
Teléfono:
Fax:
e-Mail:

Local 1 / Resumen



Altura del local: 2.800 m, Factor de mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:7.17

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Piano útil	/	206	0.64	707	0.003
Suelo	20	193	0.80	562	0.004
Techo	70	36	0.66	127	0.018
Paredes (10)	50	44	0.75	527	/

Piano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 128 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

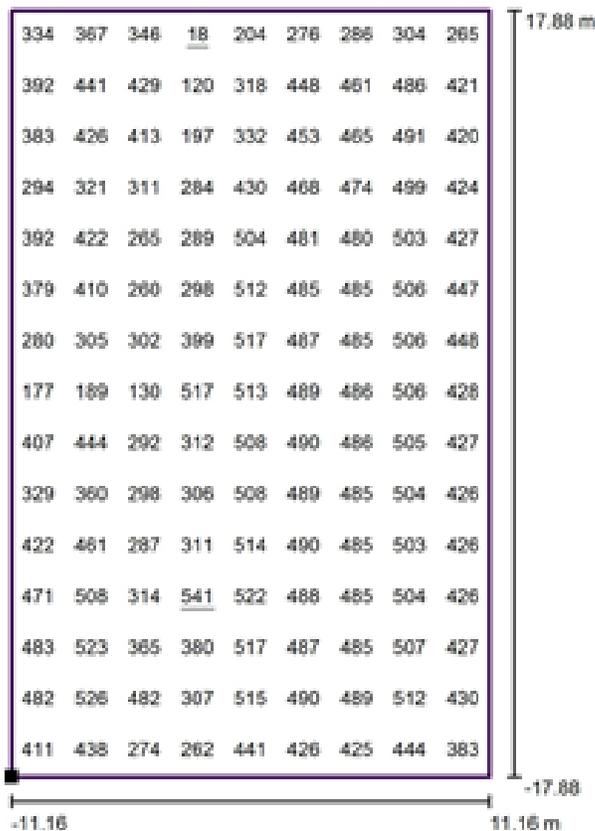
Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	136	Philips BBS560 1xLED35S/840 ACMLO-C (1.000)	3500	3500	56.0
2	17	Philips TBS411 2xTL5-45W HFP C6 (1.000)	5822	8200	100.0
Total:			574974	615400	9316.0

Valor de eficiencia energética: 4.21 W/m² = 2.04 W/m² 100 lx (Base: 2212.15 m²)

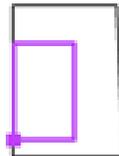
Proyecto elaborado por
Teléfono:
Fax:
e-Mail:

Local 1 / Trama de cálculo 2 / Gráfico de valores (E, perpendicular)



Valores en Lux, Escala 1 : 287

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado: (0.927 m, 11.563 m,
0.000 m)



Trama: 9 x 15 Puntos

E_m [lx]
410

E_{min} [lx]
18

E_{max} [lx]
541

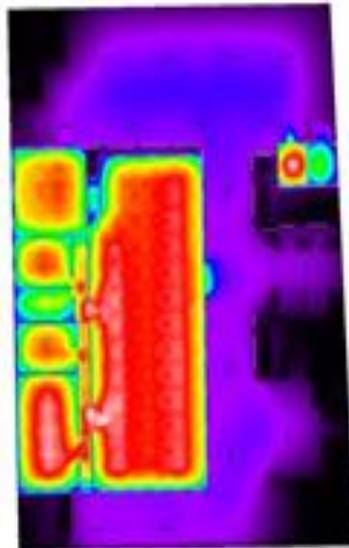
E_{min} / E_m
0.04

E_{min} / E_{max}
0.03



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Rendering (procesado) de colores falsos



0 70 140 210 280 350 420 490 560

lx

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

JAVIER LOZANO ALARCON, Secretario del Trabajo y Previsión Social, con fundamento en los artículos 16 y 40 fracciones I y XI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 512, 523 fracción I, 524 y 527 último párrafo de la Ley Federal del Trabajo; 3o., fracción XI, 38 fracción II, 40 fracción VII, 46, 47 fracción IV, 51 cuarto párrafo y 52 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 4o., del 95 al 98 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo; 3, 5 y 19 del Reglamento Interior de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, y

CONSIDERANDO

Que con fecha 27 de septiembre de 2005, en cumplimiento de lo previsto por el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social presentó ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Anteproyecto de Modificación de la presente Norma Oficial Mexicana y que el citado Comité lo consideró correcto y acordó que se publicara como Proyecto en el Diario Oficial de la Federación;

Que con objeto de cumplir con lo dispuesto en los artículos 69-E y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, el Anteproyecto correspondiente fue sometido a la consideración de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria, la que dictaminó favorablemente en relación al mismo;

Que con fecha 5 de junio de 2008, en cumplimiento del Acuerdo por el que se establecen la organización y Reglas de Operación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo, y de lo previsto por el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, para quedar como PROY-NOM-025-STPS-2005, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, a efecto de que, dentro de los siguientes 60 días naturales a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité;

Que habiendo recibido comentarios de diez promoventes, el Comité referido procedió a su estudio y resolvió oportunamente sobre los mismos, publicando esta dependencia las respuestas respectivas en el Diario Oficial de la Federación el 12 de diciembre de 2008, en cumplimiento a lo previsto por el artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;

Que derivado de la incorporación de los comentarios presentados al Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, para quedar como PROY-NOM-025-STPS-2005, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, así como de la revisión final del propio proyecto, se realizaron diversas modificaciones con el propósito de dar claridad, congruencia y certeza jurídica en cuanto a las disposiciones que aplican en los centros de trabajo, y

Que en atención a las anteriores consideraciones y toda vez que el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo otorgó la aprobación respectiva, se expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-STPS-2008, CONDICIONES DE ILUMINACION EN LOS CENTROS DE TRABAJO

INDICE

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Obligaciones del patrón
6. Obligaciones de los trabajadores
7. Niveles de iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo
8. Reconocimiento de las condiciones de iluminación
9. Evaluación de los niveles de iluminación

7. Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1
Niveles de Iluminación

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Area de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y paillería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización) (Continúa en la Segunda Sección)

LUZ AURORA ORTIZ SALGADO, Presidenta del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas y Directora General de Distribución y Abastecimiento de Energía Eléctrica, y Recursos Nucleares, con fundamento en los artículos 33 fracción XII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II, 40 fracciones XI y XIII, 41, 46, 47 y 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 33 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 2 apartado A fracción I, 8, fracciones XIII, XIV y XV, y 11 fracción III, del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía; expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION).

CONSIDERANDOS

Primero.- Que de conformidad con el artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), entró al proceso de revisión quinquenal a que refiere dicho dispositivo legal.

Segundo.- Que de conformidad con el cuarto párrafo del artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización se dio aviso al secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización de los resultados de la revisión, dentro del término legal establecido para tal efecto, posterior a la terminación del período quinquenal correspondiente.

Tercero.- Que de conformidad con el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 21 de marzo de 2011 se presentó el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE, Instalaciones Eléctricas (utilización) al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas acompañado de la Manifestación de Impacto Regulatorio, misma que fue presentada con esta fecha a la Secretaría de Economía a través de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria.

Cuarto.- Que de conformidad con el artículo 46 fracción II de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 18 de junio de 2012, la Secretaría de Energía contestó fundadamente las observaciones presentadas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas, en el término establecido legalmente para ello.

Quinto.- Que de conformidad con el artículo 47 fracción I y 33 de su Reglamento se expidió el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización), para consulta pública con el objeto de que dentro de los sesenta días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas.

Sexto.- Que de conformidad con el artículo 47 en su fracción III, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Presidencia del Comité ordenó la publicación en el Diario Oficial de la Federación de las respuestas a los comentarios recibidos en la consulta pública.

Séptimo.- Que de conformidad con los considerandos anteriores se concluye que se ha cumplido con el procedimiento para la modificación de la presente Norma Oficial Mexicana.

Octavo.- Que con la finalidad de mantener actualizado el instrumento normativo y técnico que regule las instalaciones eléctricas del país y en cumplimiento con la obligación de revisar cada cinco años las normas oficiales mexicanas, se tiene a bien expedir la siguiente:

CALIBRE AWG	SECCIÓN TRANSVERSAL		DIÁMETRO NOMINAL		PESO NOMINAL	DURO		SEMIDURO		SUAVE
	mm²	Circular- mils	mm	Pulg.	kg/km	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km	ESFUERZO A RUPTURA MPa	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km	ESFUERZO A RUPTURA MPa	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km
4/0	107.20	211 600	11.684	0.460 0	953.2	0.166 6	340	0.164 7	340	0.160 8
3/0	85.01	167 800	10.404	0.409 6	755.8	0.208 7	350	0.207 7	345	0.202 8
2/0	67.43	133 100	9.266	0.364 8	599.5	0.263 2	365	0.261 8	350	0.255 7
1/0	53.48	105 600	8.252	0.324 9	475.5	0.331 7	375	0.330 1	360	0.322 4
1	42.41	83 690	7.348	0.289 3	377.0	0.422 9	385	0.420 6	365	0.406 5
2	33.63	66 360	6.543	0.257 6	289.9	0.533 2	395	0.530 5	370	0.512 8
3	27.67	52 620	5.827	0.229 4	237.1	0.672 3	405	0.688 7	380	0.646 4
4	21.15	41 740	5.189	0.204 3	188.0	0.847 8	415	0.843 2	380	0.815 3
5	16.77	33 090	4.620	0.181 9	148.0	1.068 9	420	1.063 3	385	1.027 9
6	13.30	26 240	4.115	0.162 0	118.2	1.347 8	430	1.340 9	385	1.296 3
7	10.55	20 820	3.665	0.144 3	93.8	1.699 8	435	1.691 0	390	1.634 5
8	8.37	16 510	3.284	0.128 5	74.4	2.143 4	440	2.132 3	390	2.061 1
9	6.63	13 090	2.906	0.114 4	58.0	2.702 8	440	2.688 7	395	2.598 8
10	5.26	10 380	2.588	0.101 9	46.8	3.408 9	445	3.389 2	395	3.277 3
11	4.17	8 230	2.304	0.090 7	37.1	4.298 1	450	4.275 1	400	4.134 0
12	3.31	6 530	2.052	0.080 8	29.4	5.420 2	455	5.380 0	400	5.210 2
13	2.63	5 180	1.829	0.072 0	23.3	6.834 3	455	6.788 2	400	6.571 8
14	2.08	4 110	1.628	0.064 1	18.5	8.615 9	455	8.573 2	405	8.284 5
15	1.65	3 260	1.450	0.057 1	14.7	10.866 6	460	10.810 8	405	10.446 7
16	1.31	2 500	1.290	0.050 0	11.6	13.701 4	460	13.029 2	410	13.178 4
17	1.04	2 050	1.151	0.045 3	9.24	17.277 7	460	17.189 1	410	16.614 9
18	0.823	1 620	1.024	0.040 3	7.32	21.785 8	460	21.647 2	415	20.949 1
19	0.653	1 290	0.912	0.035 9	5.81	—	—	—	—	26.415 3
20	0.519	1 020	0.813	0.032 0	4.61	—	—	—	—	33.302 1
21	0.410	812	0.724	0.028 5	3.66	—	—	—	—	41.996 8
22	0.324	640	0.643	0.025 3	2.88	—	—	—	—	52.655 3
23	0.258	511	0.574	0.022 6	2.30	—	—	—	—	66.601 1
24	0.205	404	0.511	0.020 1	1.82	—	—	—	—	84.223 2
25	0.162	320	0.455	0.017 9	1.44	—	—	—	—	106.205 9
26	0.128	253	0.404	0.015 9	1.14	—	—	—	—	133.695 6
27	0.102	202	0.381	0.014 2	0.908	—	—	—	—	168.673 0
28	0.081	159	0.320	0.012 6	0.715	—	—	—	—	212.936 9
29	0.064	128	0.287	0.011 3	0.575	—	—	—	—	268.517 0
30	0.051	100	0.254	0.010 0	0.450	—	—	—	—	338.599 2
31	0.040	79.2	0.227	0.008 9	0.359	—	—	—	—	426.658 1
32	0.032	64.0	0.203	0.008 0	0.285	—	—	—	—	538.412 1
33	0.025	50.4	0.180	0.007 1	0.226	—	—	—	—	678.638 9
34	0.020	39.7	0.100	0.006 3	0.179	—	—	—	—	1 079.449 0

Tabla de conductores electricos