



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

“PROYECTO ELÉCTRICO DE UN EDIFICIO GUBERNAMENTAL”

***INFORME DEL
EJERCICIO PROFESIONAL***

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ROGELIO SOSA DÍAZ

ASESOR: M. en I. FIDEL GUTIERREZ FLORES



MAYO 2011



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.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
INTRODUCCIÓN	8

CAPÍTULO I

“SISTEMA DE ALUMBRADO”	11
1.1 LUMINOTECNIA	12
1.2 LA LUZ	13
1.2.1 <i>Piroluminiscencia</i>	14
1.2.2 <i>Incandescencia</i>	14
1.2.3 <i>Luminiscencia</i>	14
1.3 COLOR	15
1.3.1 <i>Temperatura de color</i>	15
1.4 TECNOLOGÍA DE LA ILUMINACIÓN ELÉCTRICA	17
1.5 TIPOS DE LÁMPARAS	18
1.5.1 <i>Focos Incandescentes</i>	20
1.5.2 <i>Lámparas Halógenas</i>	21
1.5.3 <i>Lámparas de Sodio de Alta Presión</i>	21
1.5.4 <i>Lámparas de Haluro Metálico</i>	21
1.5.5 <i>Lámparas de Vapor de Mercurio</i>	22
1.5.6 <i>Lámparas Fluorescentes</i>	22
1.5.7 <i>Lámparas Fluorescentes Compactas</i>	23
1.6 SISTEMA DE ALUMBRADO DEL USPC Y SUS CRITERIOS DE DISEÑO .	23
1.6.1 <i>Nivel de iluminación</i>	24
1.6.2 <i>Lámparas</i>	25
1.6.3 <i>Luminarias</i>	25
1.7 REQUISITOS PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN	25
1.8 SELECCIÓN DE LAS LÁMPARAS DEL PROYECTO DEL USPC	26
1.9 COLOCACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LAS LUMINARIAS	28

1.10 NIVELES MEDIOS DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR LA SMII Y LA IESNA	28
1.11 NIVELES MEDIOS DE ILUMINACIÓN AL PLANO DE TRABAJO RECOMENDADOS PARA LA REPÚBLICA MEXICANA.....	30
1.12 MÉTODO DE CÁLCULO PARA LA ILUMINACIÓN DE INTERIORES	33
1.12.1 <i>Cálculo de iluminación en el área de oficinas del USPC</i>	35
1.13 CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS DE ALUMBRADO.....	38
1.13.1 <i>Calculo del Circuito Derivado "A-2"</i>	39
1.14 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.....	42
1.14.1 <i>Cálculo del interruptor termomagnético del circuito derivado "A-2"....</i>	42
1.15 CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.....	42
1.15.1 <i>Cálculo del Alimentador Principal del Tablero "A"</i>	44
1.16 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO PRINCIPAL	46
1.16.1 <i>Cálculo del interruptor termomagnético principal del tablero "A"</i>	46
1.17 CUADRO DE CARGAS (TAB."A")	47
1.18 LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS ELÉCTRICOS DE ALUMBRADO	48

CAPÍTULO II

"SISTEMA DE CONTACTOS Y FUERZA"	50
2.1 RECEPTÁCULOS	50
2.2 TIPOS DE CARGAS Y SU COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO.....	51
2.2.1 <i>Cargas Resistivas</i>	52
2.2.2 <i>Cargas Inductivas</i>	53
2.2.3 <i>Cargas Capacitivas</i>	53
2.2.4 <i>Combinación de Cargas</i>	54
2.3 EL FACTOR DE POTENCIA.....	55
2.3.1 <i>Corrección del factor de potencia</i>	55
2.4 EL TRIÁNGULO DE POTENCIAS	56
2.5 EL SISTEMA DE FUERZA.....	59
2.5.1 <i>Clasificación de los motores eléctricos de corriente alterna.....</i>	59

2.5.2	<i>Corriente de entrada a un motor</i>	61
2.5.3	<i>Tablas aplicables de la NOM-001-SEDE-2005</i>	62
2.5.4	<i>Datos de la Placa</i>	65
2.6	PROTECCIÓN Y CONTROL PARA MOTORES.....	66
2.6.1	<i>Arrancadores</i>	66
2.6.2	<i>Arrancador magnético a tensión plena</i>	67
2.6.3	<i>Arrancador magnético a tensión reducida</i>	68
2.7	CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS	69
2.8	CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS DE CONTACTOS.....	70
2.8.1	<i>Calculo del Circuito Derivado “C-7”</i>	71
2.9	CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.....	73
2.9.1	<i>Cálculo del interruptor termomagnético del circuito derivado “C-7”</i>	74
2.10	CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.....	74
2.10.1	<i>Cálculo del Alimentador Principal del Tablero “C”</i>	76
2.11	CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO PRINCIPAL	78
2.11.1	<i>Cálculo del interruptor termomagnético principal del tablero “A”</i>	78
2.12	LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS ELÉCTRICOS DE CONTACTOS.....	79

CAPÍTULO III

“SISTEMA DE ENERGÍA REGULADA”	82
3.1 SISTEMA DE ENERGÍA INTERRUMPIBLE (UPS).....	83
3.1.1 <i>Descripción básica de los componentes de un UPS</i>	84
3.2 FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO UPS	85
3.2.1 <i>En operación normal</i>	85
3.2.2 <i>En operación con Baterías</i>	86
3.2.3 <i>Operación con Recarga de Baterías</i>	87
3.2.4 <i>Operación de transferencia a la línea</i>	88
3.2.5 <i>Transferencia de la línea al UPS</i>	89
3.3 CONFIGURACIONES TÍPICAS DE EQUIPOS UPS	90
3.3.1 <i>Sistema No Redundante</i>	90

3.3.2	<i>Configuración de Sistemas Redundantes</i>	92
3.4	ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO DE ENERGÍA ININTERRUMPIBLE	95
3.4.1	<i>Npower Single Module System</i>	95
3.4.2.	<i>Paquete de Baterías</i>	96
3.5	PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA ININTERRUMPIBLE.....	97
3.5.1	<i>Protección de baterías</i>	97
3.5.2	<i>Protección del cargador de baterías</i>	97
3.5.3	<i>Protección del Inversor</i>	98
3.5.4	<i>Protección de Interruptor de transferencia estático</i>	99
3.6	CIRCUITOS DERIVADOS DEL SISTEMA REGULADO	99
3.7	CUADROS DE CARGA DEL SISTEMA REGULADO	103

CAPÍTULO IV

“SISTEMA DE TIERRAS”	104
4.1 LA RAZÓN DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS	104
4.1.1 <i>Necesidad del sistema de tierras</i>	105
4.1.2 <i>La corriente eléctrica como causa de peligro</i>	106
4.1.3 <i>El efecto de la corriente eléctrica</i>	107
4.2 EL SISTEMA DE TIERRAS DE LA SUBESTACIÓN.	108
4.2.1 <i>Conexión a tierra del equipo</i>	110
4.2.2 <i>Calculo de la red de tierras de la subestación</i>	113
4.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS	120
4.3.1 <i>Clasificación de edificios</i>	121
4.3.2 <i>Especificación de materiales</i>	122
4.3.3 <i>Instalación del Sistema de Pararrayos</i>	125
4.3.4 <i>Condiciones del tipo de suelo</i>	129
4.3.5 <i>Ligas de tomas de tierra</i>	131
4.3.6 <i>Ligas de cuerpos metálicos al sistema de pararrayos</i>	132
4.4 SISTEMA DE TIERRAS DEL SISTEMA REGULADO.....	133
4.4.1 <i>Tierras Aisladas</i>	133

4.4.2	<i>¿Qué es Aislado?</i>	135
4.4.3	<i>Trayectoria a Tierra</i>	136
4.4.4	<i>Equipos con cableado fijo</i>	137
4.4.5	<i>IG para una fuente derivada independiente</i>	137
4.4.6	<i>Los Beneficios del cableado IG</i>	137
4.4.7	<i>Desventajas de las técnicas de cableado IG</i>	138
4.4.8	<i>Reglas prácticas</i>	140

CAPÍTULO V

“SUBESTACIONES”	141
5.1 TIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....	142
5.1.1 <i>Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas</i>	142
5.1.2 <i>Subestaciones receptoras primarias</i>	142
5.1.3 <i>Subestaciones receptoras secundarias</i>	143
5.1.4 <i>Subestaciones tipo intemperie</i>	143
5.1.5 <i>Subestaciones tipo interior</i>	143
5.1.6 <i>Subestaciones tipo blindado</i>	143
5.2 PRINCIPALES PARTES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	144
5.2.1 <i>Diagrama Unifilar Simplificado de una Subestación Eléctrica</i>	145
5.2.2 <i>Apartarrayos y cortacircuitos fusible</i>	146
5.2.3 <i>Los conductores de media tensión</i>	149
5.2.4 <i>Subestaciones eléctricas compactas</i>	153
5.2.5 <i>El transformador</i>	157
5.2.6 <i>La Planta de Emergencia</i>	164
5.2.7 <i>El Equipo de Transferencia</i>	166
5.2.8 <i>El Interruptor Principal del Secundario</i>	169
5.2.9 <i>El Tablero Principal de Baja Tensión</i>	171
5.3 PROCEDIMIENTO PARA LA SOLICITUD DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	174

CAPÍTULO VI

“PLANOS DEL PROYECTO ELÉCTRICO”	179
IE-01A ALUMBRADO 1ER NIVEL (USPC PC).....	180
IE-01B ALUMBRADO 1ER NIVEL (USPC TR)	181
IE-02A CONTACTOS NORMALES 1ER NIVEL (USPC PC)	182
IE-02B CONTACTOS NORMALES 1ER NIVEL (USPC TR).....	183
IE-03A CONTACTOS REGULADOS 1ER NIVEL (USPC PC).....	184
IE-03B CONTACTOS REGULADOS 1ER NIVEL (USPC TR).....	185
IE-03C CONTACTOS REGULADOS PLATAFORMA MEXICO.....	186
IE-04A VOZ Y DATOS 1ER NIVEL (USPC PC)	187
IE-04B VOZ Y DATOS 1ER NIVEL (USPC TR)	188
IE-05A REGADERAS Y ESTUFA ELECTRICA 1ER NIVEL.....	189
IE-05B REGADERAS Y ESTUFA ELECTRICA 1ER NIVEL.....	190
IE-06A ALUMBRADO 2º NIVEL (USPC).....	191
IE-06B ALUMBRADO 2º NIVEL (USPC).....	192
IE-07A CONTACTOS NORMALES 2º NIVEL (USPC).....	193
IE-07B CONTACTOS NORMALES 2º NIVEL (USPC).....	194
IE-07C REGADERA EN 2º NIVEL.....	195
IE-08A CONTACTOS REGULADOS 2º NIVEL (USPC).....	196
IE-08B CONTACTOS REGULADOS 2º NIVEL (USPC).....	197
IE-09A VOZ Y DATOS 2º NIVEL (USPC).....	198
IE-09B VOZ Y DATOS 2º NIVEL (USPC).....	199
IE-10 ALUMBRADO PUENTE Y DOBLE ALTURA	200
IE-11 ALUMBRADO ESTACIONAMIENTO	201
IE-12 ALUMBRADO HELIPUERTO	202
IE-13 ALIMENTADORES GENERALES	203
IE-14 1ER NIVEL ALIMENTADORES	204
IE-15 2º NIVEL ALIMENTADORES.....	205
IE-16 SUBESTACION ELECTRICA (ARREGLO DE EQUIPO)	206
IE-17 SISTEMA DE TIERRAS DE LA SUBESTACION	207
IE-18 SISTEMA DE TIERRAS Y PARARRAYOS	208

IE-19	CUADROS DE CARGAS	209
IE-20A	DIAGRAMA UNIFILAR (PRIMERA OPCION).....	210
IE-20B	DIAGRAMA UNIFILAR (SEGUNDA OPCION).....	211
IE-21	ALUMBRADO SIME.....	212
IE-22	CONTACTOS NORMALES SIME	213
IE-23	CONTACTOS REGULADOS SIME.....	214
IE-24	SALIDAS DE VOZ Y DATOS SIME	215
IE-25	SALIDAS DE VIDEO SIME	216
IE-26	SALIDAS PARA MINI SPLIT EN EL SIME	217
IE-27	ALUMBRADO DE FACHADAS	218
	CONCLUSIONES.....	219
	BIBLIOGRAFIA	223

INTRODUCCIÓN

Actualmente en nuestro país debido al crecimiento de la población se hace necesaria la creación de nuevas obras de infraestructura para la dotar a la ciudadanía de los servicios básicos que se requieren para satisfacer sus necesidades. La creación de estos servicios depende tanto de la adecuada administración de los recursos que el gobierno tiene a su cargo; como de las decisiones que en su momento se toman en la creación de los proyectos que llegan a convertirse en obras.

Durante mi experiencia laboral he participado como proyectista de instalaciones eléctricas en empresas como ICA INGENIERIA SA DE CV, PROLUM INDUSTRIAL SA DE CV, TERRANOVIS INGENIERIA SA DE CV y en el H. AYUNTAMIENTO DE ECATEPEC DE MORELOS, en la DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS.

Realizo el siguiente informe del ejercicio profesional en el cual me enfocaré especialmente en el “Proyecto Eléctrico de un Edificio para Oficinas de Gobierno”, al que me referiré con el nombre de “**Unidad de Servicios de Protección Ciudadana**” (**USPC**), en el que participé como único proyectista de instalaciones eléctricas, en la administración que estuvo en gestión en el periodo 2006-2009, en el H. Ayuntamiento de Ecatepec de Morelos en la Dirección de Obras Públicas.

A pesar de haber contribuido en diversidad de proyectos eléctricos como proyectista de instalaciones eléctricas en las empresas en las que presté mis servicios; éste proyecto en especial es de los más completos, ya que comprende la elaboración de planos para el sistema de iluminación, sistema de contactos y fuerza, sistemas de emergencia, sistema de energía regulada, los sistemas de tierras y pararrayos y la subestación eléctrica, entre otros.

El objetivo del diseño será proveer una instalación eléctrica con las características de Seguridad, Flexibilidad, Confiabilidad, Facilidad de Expansión, Simplicidad y Economía, sin desatender las necesidades tecnológicas modernas.

El proyecto eléctrico así como todo el equipo y material especificado en él, deberá apearse a la última edición de las siguientes normas:

Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEDE-2005)

National Fire Protection Association (NFPA)

National Electrical Code (NEC)

National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
 Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
 American National Standard Institute (ANSI)
 Los aparatos instalados deberán cumplir con la certificación UL

Para el diseño de este proyecto se tomó como base lo dispuesto en la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005, refiriéndose a los artículos siguientes según sea el caso:

ESPECIFICACIONES	ARTICULOS
1.- Circuitos derivados	210
a) Clasificación	210.3
b) Código de colores para circuitos derivados	210.5
c) Tensión máxima de los circuitos derivados	210.6
d) Contactos y clavijas	210.7
e) Capacidad de circuitos derivados (conductores)	210.19
f) Protección contra sobre corriente	210.20
g) Dispositivos de salida	210.21
h) Cargas máximas	210.22
i) Cargas permitidas	210.23
2.- Alimentadores	215
a) Capacidad de corriente y calibres mínimos	215.2
b) Protección contra sobrecorriente	215.3
3.- Cálculo de circuitos derivados y alimentadores	220
a) Tensiones	220.2
b) Calculo de los circuitos derivados	220.3
c) Cargas de alumbrado general de acuerdo al tipo de local	220.3 (b)
d) Circuitos derivados requeridos	220.4
e) Alimentadores (dispositivos generales) 220.10	
f) Alumbrado general	220.11
4.- Conductores para alambrado en general	310
a) Conductores	310.2
b) Identificación de conductores	310.12
c) Tablas	310.13

	a	310.84
5.- Motores, circuitos de motores y sus controles		430
a) Determinación de la corriente nominal de los motores.		430.6
b) Identificación de motores		430.7
b.1) Letras de código a rotor bloqueado (tabla)		430.7
c) Conductores para circuitos de motores dispositivos generales		430.21

La instalación eléctrica de este edificio tendrá una particularidad: la subestación eléctrica es existente con capacidad de 750KVA, y la acometida en media tensión por lo tanto también es existente.

La subestación eléctrica actualmente provee la alimentación eléctrica para un edificio de oficinas que consume aproximadamente el 30% de su capacidad, con la adición de carga para el nuevo edificio la subestación eléctrica estará apenas al 70% de su capacidad, por lo que será adecuada para la alimentación de ambos edificios.

JUSTIFICACIÓN.- La construcción del edificio del USPC, fue la obra de mayor importancia en la administración que concluyó su gestión en 2009, y se requería terminar la obra completa antes del cambio de administración. La propuesta original de los ingenieros responsables del proyecto fue la de cambiar la ubicación de la subestación e incrementar su capacidad, sin embargo el costo de estos trabajos no estaban contemplados en el presupuesto autorizado de la obra.

La subestación eléctrica actualmente está ubicada en el predio que ocupa el edificio del USPC, el haber cambiado la subestación de lugar hubiera implicado cortar el suministro del edificio de oficinas existente para hacer la transición.

Durante el desarrollo de la obra se hicieron trámites de gestoría ante la compañía de Luz y Fuerza del Centro en la sección de cuentas especiales, con la finalidad de hacer el cambio de ubicación de la subestación, sin embargo debido al largo plazo de atención a la solicitud, el costo tan elevado por maniobras y adquisición de equipo nuevo y la construcción de una nueva subestación; el responsable del proyecto autorizó la construcción del edificio del USPC utilizando la subestación existente, después de que se verificó que la capacidad de la subestación era adecuada para la alimentación de ambos edificios.

La meta a alcanzar en todo momento, fue el término de la obra antes del cambio de administración.

CAPÍTULO I

“SISTEMA DE ALUMBRADO”

En el campo de la construcción, el sistema eléctrico, juega un papel muy importante en la ejecución de cualquier obra, ya que junto con las instalaciones hidráulicas y sanitarias, constituyen la parte fundamental que le da la funcionalidad requerida. Sin una instalación eléctrica adecuada una edificación no podría ser utilizable.

Contar con edificios bien electrificados donde se brinde un buen servicio a la población requiere de instalaciones adecuadas, a la vanguardia y con tecnología de punta, es por eso que en este proyecto se utilizaron lámparas modernas, que brindan un nivel de iluminación adecuado para el tipo de local a considerar, y comparando con los diseños anteriores utilizados en este tipo de edificios, son más eficientes, tienen un mayor tiempo de vida útil y sobretodo consumen menos energía.

Los modelos anteriores utilizados en el edificio de oficinas existente son del tipo fluorescente de 4x38W que además utilizan el balastro convencional ferromagnético, estas luminarias consumen aproximadamente 200W por unidad, mientras que las utilizadas para el edificio del USPC que también son del tipo fluorescente pero de 3x32W y con balastro electrónico, solo consumen 96W por unidad, brindando el mismo servicio, pero con un ahorro considerable de energía de más del 50%.

Actualmente la tendencia en los sistemas de iluminación se enfoca en la eficiencia de los sistemas de alumbrado, pero sobre todo en el ahorro de energía. Sin embargo en este informe trataremos las diferentes clases de iluminación con los diferentes tipos de lámparas de forma muy general, y trataremos de enfocar la

atención en las lámparas ahorradoras que son las que actualmente están tomando los primeros lugares de preferencia en el desarrollo de proyectos.

El proyecto de alumbrado para este edificio en particular se sujetó al catálogo de conceptos y presupuesto autorizado por el cabildo en gestión, sin embargo en el desarrollo del proyecto, se hicieron modificaciones con algunas restricciones por cambios en el proyecto arquitectónico ó por necesidad de la misma.

Pero antes de comenzar el desarrollo del proyecto de iluminación, es importante detallar algunos de los aspectos teóricos acerca de la iluminación y los diferentes tipos de lámparas que existen y cómo funcionan.

1.1 LUMINOTECNIA

¹ Un apartado fundamental en las instalaciones eléctricas de interior es el que hace referencia a la iluminación de los diferentes espacios. La luminotecnia es la ciencia que estudia las principales formas de producción de la luz, así como su control y aplicaciones, los sistemas y dispositivos de iluminación existentes, las características de cada uno y cuáles son los más frecuentes, y en que situaciones utilizamos unos u otros.

Desde este punto de vista, la luminotecnia tiene por objeto de estudio los conceptos básicos, las magnitudes y las características principales de los receptores de uso más frecuente, así como las principales formas de producir la luz utilizando como energía primaria la electricidad.

La iluminación eléctrica se obtiene mediante cualquiera de los numerosos dispositivos que convierten la energía eléctrica en luz. Los tipos de dispositivos de iluminación eléctrica utilizados con mayor frecuencia son las lámparas incandescentes, las lámparas fluorescentes y los distintos modelos de lámparas de arco y de vapor por descarga eléctrica.

¹ José M. Sebastián, Pedro González / Instalaciones Eléctricas de Interior / Pág. 93

1.2 LA LUZ

²La luz es una de las múltiples formas de manifestarse de la energía, y la podemos definir como la energía producida por una gama de radiaciones electromagnéticas perceptibles al ojo humano, que a simple vista, parece que la luz que recibimos durante el día es blanca, sin embargo ahora sabemos que un rayo de luz blanca está formado por un conjunto de radiaciones de frecuencias diferentes, que abarcan toda la franja de colores del arco iris; desde el rojo al violeta.

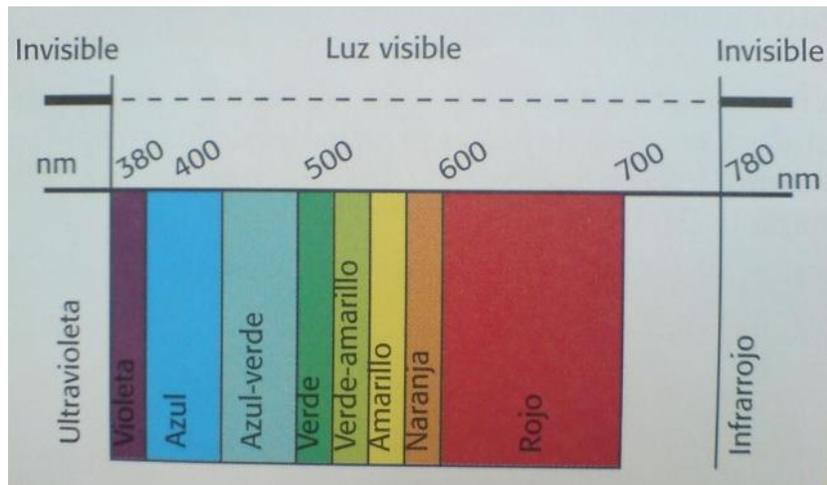


Fig. 1.1 Espectro de luz visible

La Fig.1.1 muestra la porción del espectro electromagnético que corresponde a la gama de frecuencias de la luz visible, cuya longitud de onda va desde 380nm (nanómetros) para el color violeta, la cual corresponde a una frecuencia de 7.89×10^{14} Hz; hasta los 780nm para el rojo, que corresponde a una frecuencia de 3.84×10^{14} Hz. Para cualquier frecuencia intermedia, corresponde un color diferente (espectro visible). Las frecuencias mayores (infrarrojos, microondas, ondas de radio) y menores (rayos ultravioleta, rayos X, gamma, etc.) no son visibles.

Desde tiempos remotos el ser humano ha buscado elementos que produjeran luz artificial, con la idea de poder realizar actividades tras la puesta del sol, fruto de

² José M. Sebastián, Pedro González / Instalaciones Eléctricas de Interior / Pág. 93 y 94

esta búsqueda, se han encontrado diversas fuentes de luz, que van desde el descubrimiento del fuego hasta las actuales lámparas eléctricas.

La luz se puede producir de formas diferentes, las más usuales son por piroluminiscencia, incandescencia y luminiscencia.

1.2.1 Piroluminiscencia. La producción de luz mediante la combustión de determinadas sustancias. Ejemplos: antorchas, cerillas, velas, candiles de aceite, carburos, etc.

1.2.2 Incandescencia. La luz se produce mediante el calentamiento de cuerpos sólidos al alcanzar su incandescencia. Estos cuerpos tienen la propiedad de emitir energía en forma de radiaciones electromagnéticas al elevarse su temperatura.

Colores de incandescencia	
Temperatura °C	Color
400	Rojo-gris incipiente
700	Rojo-gris
900	Rojo oscuro
1,100	Rojo amarillo
1,300	Rojo claro
1,500	Rojo-blanco incipiente
< 2,000	Rojo-blanco

Tab. 1.1

La cantidad de Luz y el color varían en función de la temperatura y de la superficie radiante. A simple vista puede valorarse la radiación, y por tanto la temperatura de un cuerpo, por el color que adquiere a medida que se va calentando, esta propiedad es la que se indica en la Tab.1.1

Las fuentes de luz incandescentes son las lámparas de incandescencia y las halógenas, las cuales se verán con detalle, más adelante.

1.2.3 Luminiscencia. La luz se produce a causa de la descarga eléctrica entre dos placas o electrodos en el seno de un gas o vapor metálico. Esto es posible gracias a la propiedad que poseen algunas sustancias de emitir radiaciones luminosas cuando se las somete a la acción de un campo eléctrico.

Las fuentes luminosas que tienen su fundamento en la luminiscencia son las lámparas de descarga o fluorescentes que se analizarán con detalle, más adelante.

1.3 COLOR

Existen dos cualidades que definen las propiedades de color de una fuente de luz:

- La apariencia de color de la fuente, es decir, el color que presenta la propia fuente de luz.
- La reproducción cromática obtenida con una fuente de luz determinada, es decir, como son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esa fuente de luz.

Estas dos características dependen de la composición espectral de la luz emitida. Así, para una fuente de luz, los colores contenidos en su espectro de emisión determinarán el color resultante que presenta la propia fuente, y además los objetos iluminados reflejarán los colores que reciben de esa fuente.

1.3.1 Temperatura de color

Es un hecho que la mayoría de los cuerpos, calentados hasta una temperatura suficientemente alta emiten una luz rojiza y, a medida que la temperatura aumenta, la luz emitida se va haciendo más blanca. Este fenómeno, que es válido para las emisiones de luz por termorradiación, establece una relación entre la temperatura de la fuente de luz y su apariencia de color. Así, el parámetro que caracteriza la tonalidad de la luz emitida recibe el nombre de **temperatura de color**.

La temperatura de color de una fuente de luz se determina por comparación con una fuente patrón.

Para las lámparas que basan su funcionamiento en la termorradiación, la fuente patrón es una lámpara con las características de emisión próximas a las del cuerpo negro o radiador integral. El cuerpo negro va tomando diferentes colores (emite en diferentes longitudes de onda) a diferentes temperaturas, que se

denominan temperaturas de color. Cuando la apariencia de color de la fuente de luz ensayada y la patrón es la misma, se asigna a aquella la temperatura de color de ésta.

Para las fuentes de luz que no son radiadores completos (lámparas de descarga), se emplea el concepto de temperatura de color similar o correlacionada, que puede definirse como la temperatura a la que el cuerpo negro presenta una apariencia de color similar a la de la fuente de luz ensayada.

La equivalencia práctica entre apariencia de color y temperatura de color se establece convencionalmente según la **tabla 1.2** que se muestra a continuación.

Apariencia de color	Temperatura de color (°K)
Cálida	< 3,300
Intermedia	3,300 – 5,000
Fría (luz día)	> 5,000

Tabla 1.2 - Equivalencia entre color y temperatura

Dos aspectos prácticos en los que juega un papel decisivo la temperatura de color, son los siguientes:

- La utilización simultánea de fuentes de luz con temperaturas de color diferentes no se recomiendan, ya que causan perturbaciones visuales debidas a la adaptación cromática del ojo.

- A medida que aumenta el nivel de iluminación, también debe de hacerlo la temperatura del color. Así la experiencia demuestra que con iluminancias bajas se prefieren fuentes de luz cálidas y, a la inversa, con altos niveles de iluminación existe una preferencia por las fuentes de luz frías.

ILUMINANCIA (lux)	Apariencia de color de la Luz		
	Cálida	Intermedia	Fría
≤ 500	Agradable	Neutra	Fría
500 – 1,000			
1,000 – 2,000	Estimulante	Agradable	Neutra
2,000 – 3,000			
≥ 3,000	Antinatural	Estimulante	Agradable

Tabla 1.3 – Apariencia de color de la luz

La **tabla 1.3** muestra la impresión general asociada con diferentes iluminancias y diferentes apariencias de color de la luz.

1.4 TECNOLOGÍA DE LA ILUMINACIÓN ELÉCTRICA

Si una corriente eléctrica pasa a través de cualquier conductor que no sea perfecto, se gasta una determinada cantidad de energía que aparece en el conductor en forma de calor. Se sabe que a temperaturas superiores a los 525 °C, cualquier cuerpo caliente despedirá una cierta cantidad de luz, por lo que un conductor que se calienta por encima de dicha temperatura mediante una corriente eléctrica actuará como fuente luminosa.

La lámpara incandescente está formada por un filamento de material de elevada temperatura de fusión dentro de una ampolla de vidrio, en cuyo interior se ha hecho el vacío, o bien llena de un gas inerte. Deben utilizarse filamentos con

elevadas temperaturas de fusión porque la proporción entre la energía luminosa y la energía térmica generada por el filamento aumentan a medida que se incrementa la temperatura, obteniéndose la fuente luminosa más eficaz a la temperatura máxima del filamento.

En las primeras lámparas incandescentes se utilizaban filamentos de carbono, aunque las modernas se fabrican con filamentos de delgado hilo de wolframio o tungsteno, cuya temperatura de fusión es de 3,410 °C. El filamento debe estar en una atmósfera al vacío o inerte, ya que de lo contrario al calentarse reaccionaría químicamente con el entorno circundante.

El uso de gas inerte en lugar de vacío en las lámparas incandescentes tiene como ventaja una evaporación más lenta del filamento, lo que prolonga la vida útil de la lámpara. La mayoría de las lámparas incandescentes modernas se rellenan con una mezcla de gases de argón y halógenos, o bien con una pequeña cantidad de nitrógeno o de criptón.

La sustitución de las ampollas de vidrio por compactos tubos de vidrio de cuarzo fundido ha permitido cambios radicales en el diseño de las lámparas incandescentes.

1.5 TIPOS DE LÁMPARAS

Las lámparas de descarga eléctrica dependen de la ionización y de la descarga eléctrica resultante en vapores o gases a bajas presiones en caso de ser atravesados por una corriente eléctrica. Los ejemplos más representativos de este tipo de dispositivos son las lámparas de arco rellenas con vapor de mercurio, que generan una intensa luz azul verdosa y que se utilizan para fotografía e iluminación de carreteras; y las lámparas de neón, utilizadas para carteles decorativos y escaparates.

En las más modernas lámparas de descarga eléctrica se añaden otros metales al mercurio y al fósforo de los tubos o ampollas para mejorar el color y la eficacia. Los tubos de cerámica translúcidos, similares al vidrio, han permitido fabricar lámparas de vapor de sodio de alta presión con una potencia luminosa sin precedentes.

La lámpara fluorescente es otro tipo de dispositivo de descarga eléctrica empleado para aplicaciones generales de iluminación. Se trata de una lámpara de vapor de mercurio de baja presión contenida en un tubo de vidrio, revestido en su interior con un material fluorescente conocido como fósforo. La radiación en el arco de la lámpara de vapor hace que el fósforo se torne fluorescente.

La mayor parte de la radiación del arco es luz ultravioleta invisible, pero esta radiación se convierte en luz visible al excitar al fósforo. Las lámparas fluorescentes se destacan por una serie de importantes ventajas. Si se elige el tipo de fósforo adecuado, la calidad de luz que generan estos dispositivos puede llegar a semejarse a la luz solar. Además, tienen una alta eficacia. Un tubo fluorescente que consume 40 vatios de energía genera tanta luz como una bombilla incandescente de 150 vatios. Debido a su potencia luminosa, las lámparas fluorescentes producen menos calor que las incandescentes para generar una luminosidad semejante.

Un avance en el campo de la iluminación eléctrica es el uso de la luminiscencia, conocida como iluminación de paneles. En este caso, las partículas de fósforo se hallan suspendidas en una fina capa de material aislante, como por ejemplo el plástico. Esta capa se intercala entre dos placas conductoras, una de las cuales es una sustancia translúcida, como el vidrio, revestida en su interior con una fina película de óxido de estaño.

Como los dos conductores actúan como electrodos, al ser atravesado el fósforo por una corriente alterna hace que se ilumine. Los paneles luminiscentes se

utilizan para una amplia variedad de objetos, como por ejemplo iluminar relojes y sintonizadores de radio, para destacar los peldaños o los pasamanos de las escaleras, y para generar paredes luminosas. Sin embargo, el uso de la iluminación de paneles está limitado por el hecho de que las necesidades de corriente para grandes instalaciones son excesivas.

Se han desarrollado una serie de diferentes tipos de lámparas eléctricas para fines especiales, como la fotografía y el alumbrado de alta intensidad. Por lo general, estas lámparas han sido diseñadas de manera que puedan actuar como reflectores al ser revestidas de una capa de aluminio especular. Un ejemplo de ellas es la utilizada en fotografía, una lámpara incandescente que funciona a una temperatura superior a la normal para obtener una mayor salida de luz. Su vida útil está limitada a 2 ó 3 horas, frente a las 750 a 1,000 horas que dura una lámpara incandescente normal.

Las lámparas utilizadas para fotografía de alta velocidad generan un único destello (flash) de luz de alta intensidad que dura escasas centésimas de segundo al encender una carga una hoja de aluminio plegada o un fino hilo de aluminio dentro de una ampolla de vidrio rellena de oxígeno. La lámina se enciende por el calor de un pequeño filamento de la ampolla. Entre los fotógrafos cada vez es más popular la lámpara estroboscópica de descarga de gas a alta velocidad conocida como flash electrónico.

1.5.1 Focos Incandescentes

Los focos incandescentes son el tipo más familiar de luz con incontables aplicaciones en el hogar, tiendas y otros establecimientos comerciales. La luz es producida pasando corriente eléctrica a través de un filamento de alambre delgado, generalmente de tungsteno. Sus ventajas incluyen bajo costo inicial, excelentes calidad de calor, buen control óptico y versatilidad.

1.5.2 Lámparas Halógenas

Las lámparas halógenas producen luz pasando corriente a través de un filamento de alambre delgado pero, estos filamentos operan a temperaturas mayores, las cuales a su vez aumentan la eficacia (LPW) en más de un 20 %. La temperatura del calor es también mayor, produciendo luz “más blanca” que los focos incandescentes estándar. Las lámparas halógenas se encuentran disponibles en una variedad de formas y tamaños y pueden ser usadas de manera efectiva en una variedad de aplicaciones de iluminación, incluyendo iluminación de acentuación y de mostrador, faros delanteros de coches e iluminación proyectada exterior.

La lámpara de descarga de alta intensidad (HID) se basa en la luz emitida por media de un gas o vapor que ha sido excitado por medio de una corriente eléctrica. Es necesaria una balastra para encender la lámpara y regular su operación. Las lámparas de descarga tiene ventajas arrolladoras en la eficiencia en energía sobre los incandescentes en donde es aplicable. La de sodio de alta presión, de haluro metálico y de vapor de mercurio son clasificadas como lámparas de descarga de alta intensidad.

1.5.3 Lámparas de Sodio de Alta Presión

Las lámparas de sodio de alta presión son altamente eficientes, (hasta 140 lumens por vatio), y producen un tibio color dorado. Excelente para iluminar grandes áreas, éstas son a menudo usadas en la iluminación de caminos, iluminación proyectada, oficinas, centros comerciales, áreas de recepción, parques, usos de iluminación industrial y algunas otras comerciales. Una versión de lujo a mejorado la presentación del color para las paliaciones de interiores u exteriores

1.5.4 Lámparas de Haluro Metálico

Las lámparas de haluro metálico de alta presión son también muy eficientes (hasta 115 lumens por vatio) y producen una luz blanca, viva con propiedades de presentación del color de buena a muy buena. Éstas proporcionan buen control

óptico y son usadas en instalaciones de iluminación en exteriores de alta calidad como iluminación proyectada y aplicaciones de iluminación para deportes, en tiendas detallistas, recepción y otros espacios públicos y comerciales.

Los miembros más nuevos de la familia de haluro metálico son llamados haluro metálico cerámico (CMH). Estos excitantes y nuevos diseños brindan apariencia de calor tipo halógeno, alta eficiencia y cualidades del calor de control superior, expandiendo el uso de haluro metálico a áreas de color mucho más críticas en aplicaciones de tiendas detallistas, comerciales e incluso residenciales.

1.5.5 Lámparas de Vapor de Mercurio

Las lámparas de mercurio son los miembros más antiguos de la familia de descarga de alta intensidad. Aunque no son tan eficientes en cuanto a energía como las lámparas de haluro metálico y las de sodio a alta presión, éstas siguen siendo usadas en una variedad de aplicaciones tales como la iluminación de caminos, de seguridad y para jardines, así como algunas aplicaciones en interiores donde la calidad del color es crítica.

1.5.6 Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de descarga de mercurio de baja presión las cuales son bastantes eficientes en cuanto a energía (hasta 100 lumens por vatio). Cada una requiere un balastro para encender efectivamente la lámpara y regular su operación. Con las lámparas fluorescentes, la cantidad y el color de la luz emitida depende del tipo de cubierta de fósforo aplicada al interior de la lámpara.

El amplio rango de los fósforos disponibles hace posible producir muchos tonos de color diferentes (temperaturas de color) y diferentes niveles de calidad del color (como fue definido por el Índice de Cambio del Color) para satisfacer necesidades de la aplicación específica. Debido a las áreas de superficie relativamente largas, la luz producida por las lámparas fluorescentes es más difusa y mucho menos direccional que los “recursos de punto” como los focos incandescentes, lámparas halógenas y HID. Todas estas cualidades hacen que las lámparas fluorescentes

sean excelentes para la iluminación en general, iluminación orientada y atenuar paredes para aplicaciones en tiendas de detalle, oficinas, así como en aplicaciones industriales y residenciales.

1.5.7 Lámparas Fluorescentes Compactas

La línea de iluminación GE de lámparas fluorescentes representa un importante adelanto en la tecnología fluorescente. Debido a sus diámetros más pequeños y sus configuraciones plegadas, las lámparas fluorescentes compactas brindan alto rendimiento de la luz en tamaños mucho más pequeños que las lámparas fluorescentes lineales convencionales.

Disponibles en una variedad de diseños de conexión (se requiere el balastro por separado) y de balastro empotrada, las lámparas fluorescentes compactas han llevado al diseño de luminarias de la nueva generación para un rango completo de aplicaciones comerciales e industriales, y brindan ahorro en energía y repuestos de vida más larga para los focos incandescentes. De hecho, las lámparas fluorescentes compactas pueden brindar los mismo lumens que un foco incandescente a casi cuarto del costo.

1.6 SISTEMA DE ALUMBRADO DEL USPC Y SUS CRITERIOS DE DISEÑO

Cualquiera de los tipos generales de sistemas de luminarias vistos, puede emplearse para iluminar oficinas. Una elección inteligente entre los tipos y color de la fuente de luz requiere una evaluación de cada uno con el fin de lograr los objetivos de confort, eficiencia, viabilidad arquitectónica y costo.

La realización del proyecto de alumbrado contempla varias etapas de las cuales la primera sería la definición de las áreas contempladas por el proyecto arquitectónico del USPC, ya que es básica para determinar el nivel de iluminación que requerimos para cada área.

Definidas las áreas del proyecto la selección de las luminarias del USPC, se hizo siguiendo la misma estructura arquitectónica que tiene el edificio de oficinas existente, en cuanto al tipo de luminarias utilizadas, pero con la ventaja de que se logró obtener un ahorro de energía de más del 50% con una luminaria que en apariencia es la misma que se utilizó para las oficinas y áreas generales de otro edificio, pero con diferente tecnología según se mencionó con anterioridad.

El diseño del proyecto de iluminación del USPC se hizo tomando en cuenta las características de ahorro de energía de las luminarias seleccionadas, tanto para interiores como para exteriores, por tal motivo a pesar del costo elevado que representa para la obra, en el diseño de iluminación exterior se propusieron reflectores con tecnología LED para la iluminación de fachadas.

La mayoría de las áreas interiores del edificio del USPC son oficinas donde se concentran las actividades propias de gobierno. Por lo que la iluminación debe de tener las características de confort, eficiencia, viabilidad arquitectónica y bajo costo de mantenimiento.

El alumbrado de oficinas afecta de manera decisiva en la creación de un ambiente de trabajo adecuado, donde una serie de tareas visuales diversas deben ser realizadas con la necesaria comodidad y eficiencia. Además de los requisitos visuales, el sistema de alumbrado debe aportar a los usuarios sensaciones de estímulo, confort y bienestar.

1.6.1 Nivel de iluminación. En el proyecto de alumbrado del USPC se utilizaron los siguientes niveles de iluminación:

- 300-500-700 lux, en oficinas generales de superficie normal, despachos y oficinas técnicas, salas con equipos de cómputo, salas de conferencias.
- 500-700-1,000 lux, en oficinas generales de planta libre, áreas de diseño con planos.

1.6.2 Lámparas. Para dotar a las oficinas del USCP con un nivel de iluminación general, se utilizó con mayor frecuencia las lámparas fluorescentes lineales T8 de 32W, así como las lámparas fluorescentes compactas, para iluminación localizada o decorativa se utilizaron las lámparas halógenas MR-16 de 50W, en accesos y puntos localizados del exterior se utilizaron lámparas de aditivos metálicos de 250W, y por último en la iluminación de fachadas se utilizaron reflectores con tecnología Led de 150W.

1.6.3 Luminarias. Las luminarias empleadas para iluminación general del USPC, están equipadas con tubos fluorescentes, adoptan dos situaciones de montaje principales:

- **Empotradas:** en su gran mayoría, ya que el edificio del USPC tiene en todo el interior plafond falso reticulado.
- **Superficial** (adosado al techo): en el caso del estacionamiento y cuartos eléctricos, subestación eléctrica y cuarto de maquinas.

Las luminarias del alumbrado exterior son del tipo arbotante exterior para las lámparas de aditivos metálicos con refractor de cristal en accesos y puntos críticos del exterior, y tipo reflector de inyección a presión para las lámparas de tecnología Led en la iluminación de fachadas.

1.7 REQUISITOS PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN

Para la elaboración del proyecto eléctrico del USPC se tomaron en consideración tres factores fundamentales para obtener una iluminación adecuada:

- **nivel de iluminación según las características del local**, es decir la funcionalidad que tendrá;
- **tipo de iluminación** (directa, semidirecta, semi-indirecta, indirecta);
- **tipo de lámpara** (tomando en consideración la eficiencia luminosa y el rendimiento cromático) y tipo de luminaria que conviene adoptar en relación a las exigencias fotométricas, condiciones de funcionamiento y posibilidad de llevar a cabo un mantenimiento racional.

1.8 SELECCIÓN DE LAS LAMPARAS DEL PROYECTO DEL USPC

La selección de lámparas como ya se mencionó anteriormente, estaban definidas en el catalogo de conceptos autorizado, sin embargo la selección es la adecuada en cuanto a la iluminación de oficinas, áreas generales y estacionamiento.

En la **tabla 1.4** se presentan las luminarias que se utilizaron en las diferentes áreas del edificio del USPC, cabe hacer mención que estas mismas luminarias son las que comúnmente se utilizan para el desarrollo de los proyectos de oficinas gubernamentales en el Ayuntamiento de Ecatepec de Morelos.

LUMINARIA	DESCRIPCIÓN
	<p>Luminario de empotrar 2'x4' en acero formado, óptica europea M5, louver en aluminio semiespecular cortadores doble parabólico, acabado pintura horneada micropulverizada color blanco, para lámpara fluorescente lineal T8 de 3x32W temperatura de color 4100K, base G13, con balastro electrónico 127V, Integrado. Modelo OF1037B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminario de empotrar 2'x2' en acero formado, óptica europea M5, louver en aluminio semiespecular cortadores doble parabólico, acabado pintura horneada micropulverizada color blanco, para lámpara fluorescente lineal T8 U6 de 2x32W temperatura de color 4100K, base G13, con balastro electrónico 127V, Integrado. Modelo OF1016B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminario downlight de empotrar fijo, en aluminio inyectado, reflector de aluminio especular, cristal facetado, acabado pintura horneada micropulverizada color blanco. Para lámpara fluorescente compacta FCD de 2x26W base G24q3. Balastro electrónico multivoltaje 120V a 277V, Integrado. Modelo RE1131B, Marca Construlita O similar.</p>
	<p>Luminario downlight de empotrar fijo, en termoplástico inyectado reflector de termoplástico metalizado especular, difusor de cristal esmerilado parcial incluido, acabado termoplástico color blanco. Para lámpara fluorescente compacta FCD de 1x13W base GX23-2. Balastro inductivo a 127V Integrado. Modelo RE1016B, Marca Construlita O similar.</p>

	<p>Luminario downlight de empotrar fijo, en aluminio inyectado, reflector de aluminio semiespecular, cristal facetado, acabado en pintura horneada micropulverizada, color blanco o gris metálico. Para lámpara fluorescente compacta doble FCE de 2x13W base E26. Balastro electrónico a 127V Integrado. Modelo RE1015B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminario downlight de empotrar dirigitivo, en aluminio inyectado, acabado en pintura horneada micropulverizada, color blanco. Para lámpara MR16 de 50W, base GU5.3 con balastro electrónico a 127V/12V (AC1048N). Accesorio arillo redondo (AC1025). Modelo CO1066B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminario de sobreponer 1'x4' en Aluminio formado, óptica europea M5, louver en aluminio semiespecular cortadores doble parabólico, acabado pintura horneada micropulverizada color blanco, para lámpara fluorescente lineal T8 de 2x32W temperatura de color 4100K, base G13, con balastro electrónico multivoltaje 120V a 277V, Integrado. Modelo OF4007B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminaria Ocean II de sobreponer a prueba de polvo y humedad para lámpara fluorescente lineal T8 de 2x32W, cuerpo y difusor de policarbonato, temperatura de color 4100K, base G13, con balastro electrónico multivoltaje 120V a 277V, Integrado. Modelo OF4026B, marca Construlita, ó similar.</p>
	<p>Luminaria de inyección a presión de aluminio de 24 Led's de alto brillo color blanco monocromático, c/u, Fuente de poder integrada, modelo IL225/L24, Mca. Ventor.</p>
	<p>Luminaria sumergible de inyección a presión de aluminio maquinado con 3 Led's de cambio de color Power Star de alto brillo, subacuática, mod. IL1/RGB, Mca. Ventor.</p>
	<p>Luminaria tipo arbotante Exterior para lámpara de 250W de aditivos metálicos con refractor de cristal, 220Vca, 60Hz, modelo Wallpack II Cat. 1450-X, Mca. Holophane.</p>

Tabla 1.4 - Luminarias del proyecto

Las luminarias del proyecto del **USPC**, como puede observarse en la tabla anterior, tienen un diseño moderno y brindan un adecuado nivel de iluminación, y

comparadas con los modelos utilizados anteriormente, estas luminarias brindan un ahorro de energía de hasta un 52%.

1.9 COLOCACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LAS LUMINARIAS

En las oficinas de gran tamaño, el brillo de las luminarias es especialmente importante debido al gran número de ellas que estarán situadas dentro del campo normal de visión. Además, como a veces no existe una línea predominante de visión, las luminarias deberán tener poco brillo desde cualquier dirección. Con tales equipos, la colocación de las luminarias no es crítica mientras estén separadas unas de otras lo suficiente para proporcionar una distribución uniforme de la luz a lo largo de la habitación.

Siempre que haya una línea de visión predominante, las luminarias deberán orientarse de forma que aprovechen sus mínimos brillos y las zonas luminosas más pequeñas.

1.10 NIVELES MEDIOS DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR LA SMII Y LA IESNA

En primer lugar se tomaron en cuenta las ³recomendaciones hechas por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII) en cuanto a los niveles medios de iluminación en locales interiores, y la recomendación de iluminancia media de la IESNA (Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norte América, por sus siglas en inglés), publicado en: Principios de Iluminación y Niveles de Iluminación en México. Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, Asociación Civil. Revista Ingeniería de Iluminación, mayo-junio 1967, México.

En dicha publicación los niveles recomendados para las áreas de oficinas y demás áreas que comprenden el edificio del **USPC**, son las siguientes:

³ http://www.simcli-iluminacion.com/NIVELES_DE_ILUMINACION_EN_MEXICO.pdf

"Oficinas, Escuelas, Edificios Públicos"

"Auditorios"

"Para exhibiciones" '300, 200

"Para asambleas" '150, 100

"Para actividades sociales" '50, 50

"Cortes de Justicia (o Tribunales)"

"Áreas de asiento (público)" '300, 200

"Áreas de actividades propias de la corte" '700, 400

"Edificios Municipales"

"Bomberos y policía"

"Policía"

"Archivos de Identificación" '1500, 900

"Celdas y cuartos para interrogatorios" '300, 200

"Bomberos"

"Dormitorios" '200, 100

"Sala recreativa" '300, 200

"Garage de carro bomba" '300, 200

"Iluminación General" '300, 200

"Sobre pinturas (localizado)" '300, 200

"Sobre estatuas y otras exhibiciones" '1000, 600

"Estacionamientos" '50

"Fachadas de edificios y monumentos"

"Alrededores brillantes"

"Superficies claras" '150

"Superficies medio claras" '200

"Superficies medio oscuras" '300

"Superficies oscuras" '500

"Oficinas"

"Proyectos y diseños" '2000, 1100

"Contabilidad, auditoría, máquinas de contabilidad" '1500, 900

"Trabajos ordinarios de oficina, selección de correspondencia,

archivado activo o continuo” ‘1000, 600

“Archivado intermitente o discontinuo” ‘700, 400

“Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso,

archivos de poco uso áreas de poca exigencia visual temporal” ‘300, 200

Después de cada nombre de local o nombre de anexo de local, el primer número corresponde a la recomendación de iluminancia media de la IESNA (Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norte América, por sus siglas en inglés). El segundo número corresponde a la recomendación de la SMII. La iluminancia está dada en luxes (lx). Si el enunciado no tiene nivel significa que tiene subdivisiones o que otros espacios pertenecen a él (para los cuales si aparece el nivel medio de iluminación).

Observación: La IESNA recomienda como iluminancia máxima y mínima factores de 1.25 y 0.85 veces, respectivamente, de la iluminancia media.

1.11 NIVELES MEDIOS DE ILUMINACIÓN AL PLANO DE TRABAJO RECOMENDADOS PARA LA REPÚBLICA MEXICANA

El nivel de iluminación es sólo una de las características de las instalaciones luminosas,⁴ la elección del nivel de iluminación es fundamental para obtener una buena visión.

Con base a estudios y experiencias llevados a cabo, se han definido los niveles de iluminación aconsejables según los diversos ambientes, y en la siguiente tabla se relacionan los casos principales.

Al establecer los niveles de iluminación, debe tenerse en cuenta que el flujo luminoso emitido por las lámparas decrece con el tiempo, no sólo en función de su promedio de vida, sino también a causa del depósito de polvo y suciedad que

⁴ Vittorio Re / Iluminación Interna / págs. 76 y 77

tiene lugar sobre ellas. Lo mismo puede decirse de las luminarias (por ejemplo: pérdida de refulgencia o alteraciones del color de las superficies reflectantes, pérdida de transparencia de las pantallas, etc.).

Recuérdese, además, que la visión es un hecho subjetivo. Así por ejemplo, el nivel de iluminación necesario para un hombre de 60 años es unas 5 veces superior al adecuado para un hombre a los 40 años y 10 veces al de un niño de 10 años. Desde luego, esto es válido para niveles bajos de iluminación; a niveles elevados las diferencias se atenúan sensiblemente.

Una buena iluminación permite reducir los accidentes de trabajo y facilita la concentración. Por ejemplo, al pasar de una iluminación de 90 a 500 lux, se puede aumentar la capacidad de atención en un 15% y la seguridad y velocidad en el cálculo en un 5%.

Sin embargo, no basta con establecer un buen nivel de iluminación de acuerdo con las exigencias del local, sino que se debe también tratar de obtener una buena distribución de la luz; esto depende de la relación entre la altura a que se hallan situados los centros luminosos y las distancias que los separan.

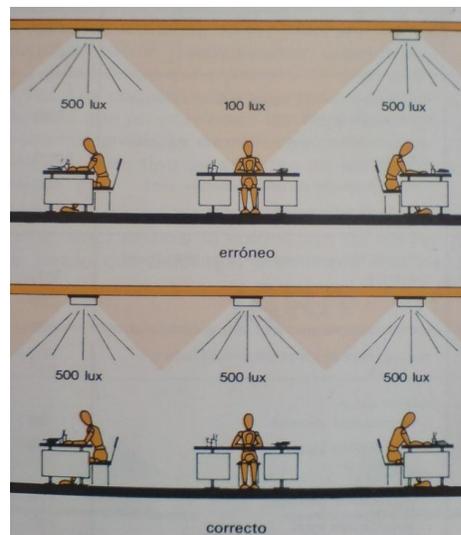


Fig. 1.2 - Distribución de las luminarias

En la **figura 1.2** se muestra la forma errónea y correcta en la que se deben de distribuir las luminarias para alcanzar el nivel de iluminación adecuado para un proyecto de iluminación en oficinas; en el desarrollo del proyecto del USPC, se realizó una distribución correcta para lograr el nivel adecuado de iluminancia, tomando en cuenta que en la mayoría de las áreas correspondientes a oficinas se tiene plafond reticulado. En la tabla 1.5 se resumen los niveles de iluminación aconsejados para interiores.

Tipo de Trabajo		Iluminación general + suplementaria (lux)
Oficina	Salas de dibujo	750 – 1500
	Locales donde se realiza un trabajo continuado (mecanografía, lectura, escritura, etc.)	400 – 800
	Locales donde el trabajo no se desarrolla en forma continua (escaleras, pasillos, salas de espera)	75 - 150
Escuelas	Aulas de enseñanza	250 - 500
	Aulas de dibujo y trabajos manuales	400 - 800
Industria	Altísima precisión (relojes, instrumentos pequeños, grabados, etc.)	2500 – 5000
	Alta precisión (ajuste, torneado de precisión, etc.)	1000 – 2000
	Normal (trabajos de taller, montaje, etc.)	400 – 800
	Pesada (forjado, laminado, etc.)	150 - 300

Locales comerciales	Salas de venta y exposición de grandes almacenes	500 – 1000
		250 – 500
	Interiores de tiendas	1000 – 2000
	Escaparates de grandes centros comerciales	500 - 300
	Escaparates de otros establecimientos	
Viviendas	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de estar <ol style="list-style-type: none"> 1. Iluminación general 2. Iluminación local 	50 – 100
		500 – 1000
	<ul style="list-style-type: none"> • Cocina <ol style="list-style-type: none"> 1. Iluminación general 2. Iluminación local 	125 – 250
		250 – 500
	<ul style="list-style-type: none"> • Dormitorios, baños <ol style="list-style-type: none"> 1. Iluminación general 2. Iluminación local 	50 – 100
		250 – 500
	<ul style="list-style-type: none"> • Pasillos, escaleras, garaje, desvanes, sotanos, etc. 	50 – 100

⁵Tabla 1.5 – Niveles de iluminación recomendados

Una vez establecidos los niveles de iluminación para las diferentes áreas, el siguiente paso es el realizar los cálculos con los datos de la luminaria seleccionada.

1.12 MÉTODO DE CÁLCULO PARA LA ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Para el proyecto de alumbrado de la **USPC**, se utilizó el método del ⁶flujo total.

Donde:

E iluminación media que se proyecta realizar (en lux);

⁵ Vittorio Re / Iluminación Interna / pág. 78

⁶ Vittorio Re / Iluminación Interna / págs. 94 a 100

Φ flujo luminoso total emitido exclusivamente por las lámparas para obtener la iluminación deseada (en lúmenes);

S superficie total del local que se proyecta iluminar (en m²).

u factor de utilización, obtenido experimentalmente en locales normalizados, utilizando luminarias de características fotométricas similares a las que se piensa emplear. Dicho factor depende: del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice K del local, del factor de reflexión del techo y paredes. El factor de utilización lo proporciona el fabricante por medio de tablas destinadas para dicho efecto.

K índice del local: toma en consideración el ancho (a) y la profundidad (b) del local en cuestión, así como la altura de las lámparas respecto al plano de trabajo (h). Los valores se expresan en metros.

Para distribuciones con luz directa, semidirecta y mixta, el índice del local se calcula con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a * b}{h (a + b)}$$

m factor de mantenimiento: tiene en cuenta la depreciación de las características fotométricas de las luminarias y el envejecimiento de las lámparas. Varía según las condiciones ambientales y la forma como se efectúa el mantenimiento.

La fórmula básica para el cálculo del flujo luminoso total necesario para la iluminación de un local, teniendo en cuenta todos los factores que acabamos de describir es la siguiente:

$$\Phi = \frac{E * S}{u * m}$$

Llamando Φ_L al flujo luminoso emitido por cada una de las lámparas, se puede deducir el número de lámparas (n) necesarias para obtener el nivel de iluminación deseado.

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_L}$$

1.12.1 Cálculo de iluminación en el área de oficinas del USPC

Datos de partida

1- Definición de las características del local.

Dimensiones en planta de **11 x 7 m**

(que corresponde a oficinas y áreas generales en el acceso del 1er nivel).

Altura del techo: **2.90 m**

Colores: **paredes y techo de tonos medios.**

Sistema de iluminación: **directa.**

Datos a determinar o calcular

2- Nivel de iluminación: **E = 700 lux**

3- Superficie del local: **S = a x b = 11 x 7 = 77m²**

4- Índice del local: se considera **h = 2.90 m**

$$K = \frac{a * b}{h (a + b)} = \frac{11 * 7}{2.90 (11 + 7)} = 1.48$$

5- Coeficiente de reflexión: **techo 75%, paredes 50%**

- 6- Tipo de lámpara: fluorescente de 96 W; luz blanquísima extra.
- 7- Tipo de luminaria preestablecido: empotrada con pantalla y 3 lámparas 32 Watts.
- 8- Factor de utilización: $u = 0.74$, obtenido a partir de tablas con relación al tipo de luminaria seleccionada, al índice del local (1.48), y al coeficiente de reflexión del techo (75%) y de las paredes (50%).
- 9- Tipo de mantenimiento previsto: medio ($m = 0.70$)

10-Flujo total:

$$\Phi = \frac{E * S}{u * m} = \frac{700 * 77}{0.74 * 0.70} = 104,054 \text{ lúmenes}$$

11-Número de lámparas (n):

Flujo emitido por cada lámpara ($\Phi_L = 3,000 \text{ lm}$)

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_L} = \frac{104,054}{3,000} = 34.68$$

Redondeando se requieren **35 lámparas**

Las luminarias seleccionadas requieren 3 lámparas, por lo cual el número de luminarias será:

$$Luminarias = \frac{35}{3} = 11.67$$

Redondeando se requieren **12 luminarias**

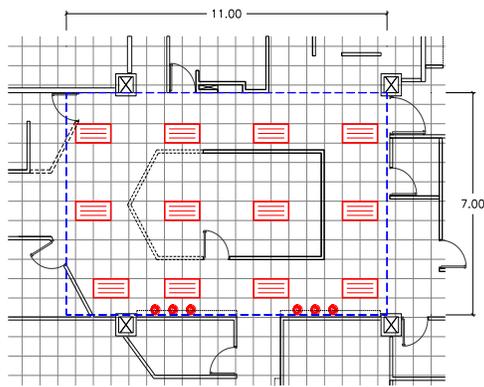


Fig. 1.3 - Iluminación de oficinas

Una vez que tenemos el número de luminarias necesarias para un nivel de iluminación adecuado, el acomodo de las luminarias en el área seleccionada para el cálculo tiene que apegarse a la disposición del reticulado de plafond, dicha distribución se muestra en la figura 1.3 que es la misma de la Imagen 1.1.



Imag. 1.1 – Iluminación en oficinas.

Además del cálculo de alumbrado por el método del flujo total, se utilizó el programa de cálculo de iluminación **viollet lux de construlita** el cual muestra los mismos resultados para la misma área. Posteriormente se realizaron cálculos para otras áreas, sin embargo la distribución no varía mucho, ya que toda el área de oficinas tiene las mismas características y prácticamente se requiere el mismo nivel de iluminación.

Una vez realizados todos los cálculos de iluminación y teniendo la totalidad de la distribución de luminarias dispuestas para el proyecto de alumbrado, el siguiente paso consiste en realizar el cálculo de los circuitos derivados, tomando en cuenta las diferentes áreas que comprenden cada nivel del edificio del USPC.

En la elaboración del proyecto eléctrico se tomó en cuenta la distribución de las diferentes áreas del edificio con la finalidad de brindar mayor funcionalidad de las instalaciones eléctricas, de tal manera que a cada área específica se le asignó un circuito derivado.

1.13 CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS DE ALUMBRADO

Fórmulas:

$$I_N = \frac{P}{V_n * \cos \emptyset}$$

Donde:

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

P = Potencia en Watts.

V_n = Tensión al neutro en Volts.

$\cos \emptyset$ = Factor de Potencia.

Por conducción de corriente (Ampacidad)

$$I_C = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

Donde:

I_C = Corriente corregida en Amperes.

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

F_T = Factor de Temperatura.

F_A = Factor de Agrupamiento.

Por caída de tensión

$$S_{Cu} = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (\%e)}$$

Donde:

S_{Cu} = Sección transversal del conductor en mm^2 .

I_N = Corriente nominal del circuito derivado en Amperes.

L = Longitud en metros del tablero a cada circuito correspondiente.

V_n = Tensión al neutro en Volts.

$\%e$ = Caída de tensión en por ciento.

1.13.1 Cálculo del circuito derivado “A-2”

Datos:

$$P = 960 \text{ W}$$

$$V_n = 127 \text{ V}$$

$$L = 18 \text{ m}$$

$$\text{Cos } \emptyset = 0.9$$

$$\%e = 3.0 \% \text{ (menor al 3\%)}$$

$$F_A = 1.0 \text{ (3 conductores activos)}$$

$$F_T = 1.0$$

Por Ampacidad:

$$I_N = \frac{P}{V_n * \text{cos } \emptyset} = \frac{960}{127 * 0.9} = 8.40 \text{ Amp.}$$

Debido a que se trata de un circuito derivado, y de acuerdo a la norma; se permite agruparlo con otros circuitos derivados en una sola canalización, con la

condición de afectar los conductores eléctricos, con el factor de agrupamiento y el factor de temperatura, de acuerdo al artículo **310-15g**, tenemos:

$$I_c = \frac{I_N}{F_T * F_A} = \frac{8.40}{1.0 * 1.0} = 8.40 \text{ Amp.}$$

Con la corriente corregida (I_c) seleccionamos el conductor adecuado según la tabla **310-16** de la **NOM-001-SEDE-2005**, la cual corresponde para un conductor calibre 14 AWG, sin embargo por criterios de diseño, se utilizara un calibre **12 AWG**, como mínimo.

Ahora, calculando la sección del conductor seleccionado para la corriente obtenida y la distancia considerada:

$$S_{Cu} = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (\%e)} = \frac{4 * 18 * 8.40}{127 * 3.0} = 1.59 \text{ mm}^2$$

La cual corresponde a una sección transversal para un conductor calibre **14 AWG** que es igual a **2.082 mm²**, sin embargo por criterios de diseño, se utilizara un calibre **12 AWG**, como mínimo, por lo que el conductor seleccionado es el calibre **12 AWG**, cuya sección transversal es 3.307mm².

Cálculo de la caída de tensión de acuerdo al calibre del conductor seleccionado:

$$\%e = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (S_{Cu})} = \frac{4 * 18 * 8.40}{127 * 3.307} = 1.44 \%$$

Finalmente, su cédula de cableado es:

2 - 12 AWG

1 - 12 AWG desnudo (T.F.)

En tubería conduit pared delgada galvanizada de 13 mm de diámetro.

Nota:

El conductor para tierra física, se selecciona de la tabla **250-95** “Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos” de la **NOM-001-SEDE-2005**, de acuerdo a la capacidad o ajuste del dispositivo automático de **protección** contra sobrecorriente, el cual se calcula en el punto 1.14 siguiente.

La tubería o canalización adecuada la seleccionamos de acuerdo a la Tabla 1.6, verificando que la suma del área de la sección transversal de todos los conductores o cables en una canalización no exceda el 40% de la sección transversal interior de la canalización. ⁷Esta tabla la podemos encontrar en el capítulo 10 de la **NOM-001-SEDE-2005**, (tabla 10-4).

Dimensiones de tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado y ligero y área disponible para los conductores

Tubería	Diámetro interior mm	Área interior total mm ²	Área disponible para conductores mm ²		
			Uno conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de dos conductores fr = 40%
16 (1/2)	15.8	196	103	60	78
21 (3/4)	20.9	344	181	106	137
27 (1)	26.6	557	294	172	222
35 (1 1/4)	35.1	965	513	299	387
41 (1 1/2)	40.9	1313	697	407	526
53 (2)	52.5	2165	1149	671	867
63 (2 1/2)	62.7	3089	1638	956	1236
78 (3)	77.9	4761	2523	1476	1904
91 (3 1/2)	90.1	6379	3385	1977	2555
103 (4)	102.3	8213	4349	2456	3282
129 (5)	128.2	12907	6440	4001	5163
155 (6)	154.1	18639	9879	5778	7456

Tab. 1.6 – Dimensiones del tubo conduit (tabla 10-4 de la NOM.)

⁷ Secretaría de Energía / Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 / Tabla 10-4 / pág. 1240

1.14 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

$$I_D = 1.25 * I_N$$

Donde:

I_D = Corriente de disparo en Amperes

I_N = Corriente nominal en Amperes

1.14.1 Cálculo del interruptor termomagnético del circuito derivado “A-2”

$$I_D = 1.25 * 8.40 \text{ Amp.} = 10.50 \text{ Amp.}$$

Que corresponde a un interruptor termomagnético de 1 polo, 15 amperes ó **1P-15A**

Para este dispositivo de protección corresponde un conductor de cobre desnudo calibre 14 AWG, según la **tabla 250-95** de la **NOM-001-SEDE-2005**, pero por criterio de diseño del proyecto el calibre menor del conductor de puesta a tierra, será calibre **12 AWG**.

1.15 CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL

Fórmulas:

$$C_T = (C_{\text{CONECTADA}} * F_D) + \text{RESERVA}$$

Donde:

C_T = Carga total en Watts

$C_{\text{CONECTADA}}$ = Carga conectada en Watts

F_D = Factor de demanda (para el caso de carga de alumbrado se considera $F_D = 1.00\%$)

Reserva = 0

Por conducción de corriente (Ampacidad)

$$I_N = \frac{C_T}{(3)^{1/2} * V_f * \cos \emptyset}$$

Donde:

I_N = Corriente nominal en Amperes

C_T = Carga total en Watts

V_f = Tensión entre fases en Volts.

$\cos \emptyset$ = Factor de potencia

$$I_C = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

Donde:

I_C = Corriente corregida en Amperes.

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

F_T = Factor de Temperatura.

F_A = Factor de Agrupamiento.

Por caída de tensión

$$S_{Cu} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I_N}{V_f * (\%e)}$$

Donde:

S_{Cu} = Sección transversal del conductor en mm^2 .

I_N = Corriente nominal en Amperes.

L = Longitud en metros del tablero a cada circuito correspondiente.

V_f = Tensión entre fases en Volts.

$\%e$ = Caída de tensión en por ciento.

1.15.1 Cálculo del alimentador principal del tablero "A"

Datos:

$$C_{\text{CONECTADA}} = 38,912 \text{ W}$$

$$F_D = 1.0 \quad (\text{para la carga de alumbrado})$$

$$V_f = 220 \text{ Vca}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$\text{Cos } \emptyset = 0.9$$

$$\%e = 2.0 \% \quad (\text{máximo})$$

$$F_A = 1.0 \quad (3 \text{ conductores activos en una canalización})$$

$$F_T = 1.0$$

Por ampacidad:

$$C_T = (C_{\text{CONECTADA}} * F_D) + \text{RESERVA}$$

$$C_T = (38,912 * 1.0) + 0.0 = 38,912 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{C_T}{(3)^{1/2} * V_f * \text{cos } \emptyset}$$

$$I_N = \frac{38,912}{(3)^{1/2} * 220 * 0.9} = 113.46 \text{ Amp.}$$

$$I_c = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

$$I_c = \frac{113.46}{1.0 * 1.0} = 113.46 \text{ Amp.}$$

Con la corriente corregida (I_c) seleccionamos el conductor adecuado según la tabla **310-16** de la **NOM-001-SEDE-2005**, la cual corresponde a un conductor calibre **1/0 AWG**.

Por caída de tensión

$$S_{Cu} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I_N}{V_f * (\%e)}$$

$$S_{Cu} = \frac{2 * 1.732 * 40 * 113.46}{220 * 2.0} = 35.73 \text{ mm}^2$$

La cual corresponde a una sección transversal para un conductor calibre **1/0 AWG** que es igual a 53.48 mm²

Por lo que el conductor seleccionado es el calibre **1/0 AWG**.

Cálculo de la caída de tensión de acuerdo al calibre del conductor seleccionado:

$$\%e = \frac{2 * 1.732 * 40 * 113.46}{220 * 53.48} = 1.37 \%$$

Por lo que el cable del alimentador para este circuito debe ser calibre **1/0 AWG**

Finalmente, su cédula de cableado es:

4 – 1/0 AWG

1 - 6 AWG (T.F.)

En tubería conduit pared gruesa galvanizada de 53 mm de diámetro.

Nota:

El conductor para tierra física, se selecciona de la tabla **250-95** “Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos” de la **NOM-001-SEDE-2005**, de acuerdo a la capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente, el cual se calcula en el punto 1.16.

Para seleccionar la tubería adecuada consultamos la Tabla 1.6, (pág.41), y verificamos que la suma del área de la sección transversal de todos los conductores o cables en una canalización no exceda el 40% de la sección transversal interior de la canalización. (Capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2005).

1.16 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO PRINCIPAL

$$I_D = 1.25 * I_N$$

Donde:

I_D = Corriente de disparo en Amperes

I_N = Corriente nominal en Amperes

1.16.1 Cálculo del interruptor termomagnético principal del tablero “A”

$$I_D = 1.25 * 113.46 \text{ Amp.} = 141.83 \text{ Amp.}$$

Que corresponde a un interruptor termomagnético de 3 polos, 150 amperes ó **3P-150 A**

Para este dispositivo de protección corresponde un conductor de cobre desnudo para la conexión de puesta a tierra calibre **6 AWG**, según la **tabla 250-95** de la **NOM-001-SEDE-2005**.

Por criterios de diseño, en el proyecto del USPC los alimentadores principales se dejaron sobrados, con la capacidad para soportar la carga máxima de cada tablero, esto debido a la constante variación de cargas en diferentes épocas del año.

Para los cálculos de los demás circuitos derivados y protecciones, ver el cuadro de cargas siguiente.

1.17 CUADRO DE CARGAS (TAB."A")

TABLERO "A"

TABLERO "A" DE ALUMBRADO Y DISTRIBUCION, 3 FASES, 4 HILOS, 600 VCA, 60 Hz, NEMA-1, DE SOBREPONER, 30 ESPACIOS, CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO PRINCIPAL DE 3P-225, CAT. NQOD30-4AB22S, MCA. SQUARE'D										DESBALANCEO MAXIMO ENTRE FASES: 1.38 %						
CTOS.	96 W	26 W	13 W	50 W	180 W	1820 W	4400 W	8800 W	WATTS TOTALES	FASES	VOLTAJE (Volts)	In (Amp.)	L (m)	Caida e %	ALIM (AWG)	INT. TERM.
A-1	8							768	1	127	6.72	11	0.70	12	1P-15	
A-2	10							960	1	127	8.40	18	1.44	12	1P-15	
A-3	9							864	1	127	7.56	25	1.80	12	1P-15	
A-4	8	3						846	1	127	7.40	37	2.61	12	1P-15	
A-5	9							864	1	127	7.56	37	2.66	12	1P-15	
A-6	8							768	1	127	6.72	36	2.30	12	1P-15	
A-7	8			6				1068	1	127	9.34	25	2.22	12	1P-15	
A-8	9	1						890	1	127	7.79	30	2.22	12	1P-15	
A-9	5	3	2					584	1	127	5.11	36	1.75	12	1P-15	
A-10					9			1,620	1	127	14.17	25	2.12	10	1P-20	
A-11					10			1,800	1	127	15.75	28	2.64	10	1P-20	
A-12					10			1,800	1	127	15.75	29	2.73	10	1P-20	
A-13					9			1,620	1	127	14.17	34	2.89	10	1P-20	
A-14					9			1,620	1	127	14.17	22	1.87	10	1P-20	
A-15					9			1,620	1	127	14.17	32	2.72	10	1P-20	
A-16					10			1,800	1	127	15.75	15	1.41	10	1P-20	
A-17						1		1,820	2	220	9.19	40	0.80	8	2P-40	
A-18							1	4,400	2	220	22.22	32	2.46	10	2P-30	
A-19							1	4,400	2	220	22.22	41	1.98	8	2P-40	
A-20							1	8,800	2	220	44.44	34	1.30	4	2P-70	
TOTAL:	74	7	2	6	66	1	2	38,912	3	220	113.46	40	0.67	4/0	3P-225	

INT. TERM.	F A S E S			ESPACIO EN EL TABLERO			CTOS.
	A	B	C	A	B	C	
1P-15		768			3		A-1
1P-15			960			5	A-2
1P-15			864			6	A-3
1P-15	846			1			A-4
1P-15		864			4		A-5
1P-15			768			11	A-6
1P-15	1,068			2			A-7
1P-15		890			9		A-8
1P-15			584			12	A-9
1P-20	1,620			7			A-10
1P-20		1,800			10		A-11
1P-20		1,800			15		A-12
1P-20			1,620			17	A-13
1P-20		1,620				16	A-14
1P-20			1,620			18	A-15
1P-20	1,800			8			A-16
2P-40	924	896		19	21		A-17
2P-30		2,200	2,200		27	29	A-18
2P-40	2,200	2,200		20	22		A-19
2P-70	4,400		4,400	25		23	A-20
3P-225	12,858	13,038	13,016				

TABLERO "A"

NQOD30-4AB22S						
CTO.	ESPACIO		CTO.		CTO.	
A-4	1	A	2	A	7	A-7
A-1	3	B	4	A	5	A-5
A-2	5	C	6	A	3	A-3
A-10	7	A	8	A	16	A-16
A-8	9	B	10	A	11	A-11
A-6	11	C	12	A	9	A-9
libre	13	A	14	libre		
A-12	15	B	16	A	14	A-14
A-13	17	C	18	A	15	A-15
A-17	19	A	20	A	19	A-19
	21	B	22	A		
A-20	23	C	24	libre		
	25	A	26	libre		
A-18	27	B	28	libre		
	29	C	30	libre		

1.18 LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS ELÉCTRICOS DE ALUMBRADO

En general para el desarrollo de proyectos eléctricos, se han establecido en la práctica algunos lineamientos que sirven de referencia para la elaboración de los planos que integran el proyecto eléctrico, a continuación se presentan los más representativos:

- I. Las tuberías y accesorios deberán presentarse sobre los planos en la forma comúnmente acostumbrada, indicando los diámetros, el número de conductores y sus calibres, en la porción media de las tuberías por medio de la cédula de cableado.

- II. En cada salida de alumbrado deberá indicarse lo siguiente:
 - 1) El tablero al que pertenece. Con una letra mayúscula en un lado de la unidad.
 - 2) El circuito al que corresponde. Con un número arábigo, junto a la letra mayúscula, que indica el tablero separado con un guión.
 - 3) El apagador que la controla: Con una letra minúscula dentro de la unidad.
 - 4) Servicio Normal o de Emergencia. El Servicio normal no lleva ninguna anotación.
 - 5) El Servicio de emergencia se indicará con UNA o DOS ZONAS NEGRAS en los extremos de la unidad.

- III. Dimensiones, Montaje Difusores, carga en watts para las unidades incandescentes, etc.

- IV. El cableado de los circuitos de alumbrado deberá proyectarse con calibre THW cal. 12 AWG como mínimo, procurando que en la mayoría

de los casos, la caída máxima permisible de tensión se ajuste a dicho calibre.

- V. Como máximo no se permitirán más de 8 conductores en cada tubería y por ningún motivo deberán proyectarse neutros comunes a dos o más circuitos derivados.
- VI. Cuando en una misma canalización se tengan conductores de diferentes calibres, se deberá indicar por lo menos en tres tramos de tubería el o los circuitos derivados alimentados por esos calibres.
- VII. En los grupos de luminarios controlados desde el tablero de distribución y que no llevan apagadores, no deberán derivarse a otros locales que si llevan apagadores.
- VIII. No tener más de 5 llegadas de tubería a una misma caja de conexión.
- IX. La carga en los circuitos de alumbrado no deberá exceder de 1500 a 2000 watts.
- X. No llevar en las canalizaciones de los circuitos de alumbrado alimentadores para circuitos de áreas diferentes.
- XI. Se deberán considerar circuitos separados para los aparatos siguientes:
Relojes Marcadores, Relojes de pasillos, los cuales se conectarán al servicio de emergencia.
- XII. Protección y control de circuitos:
1200 Watts Interruptor Termomagnético de 15 A
1500 Watts Interruptor Termomagnético de 20 A

CAPÍTULO II “SISTEMA DE CONTACTOS Y FUERZA”

En el diseño de un proyecto eléctrico para un edificio, los sistemas de contactos y de fuerza, juegan un papel muy importante en cuanto a la funcionalidad y servicio que de éste se espera, la razón que estos sistemas sean imprescindibles para la operación del edificio radica en la necesidad que el trabajo en la oficina tiene de electrificar a los aparatos y equipos electrónicos utilizados para su desarrollo.

El medio por el cual se lleva a cabo la conexión de los aparatos eléctricos y electrónicos que comúnmente todos utilizamos, son los receptáculos, que comúnmente conocemos como contactos.

2.1 RECEPTÁCULOS

⁸Muchas personas están acostumbradas al receptáculo original que sólo tiene dos aberturas paralelas para las lengüetas de la clavija, según se muestra en la fig. 2.1(a).

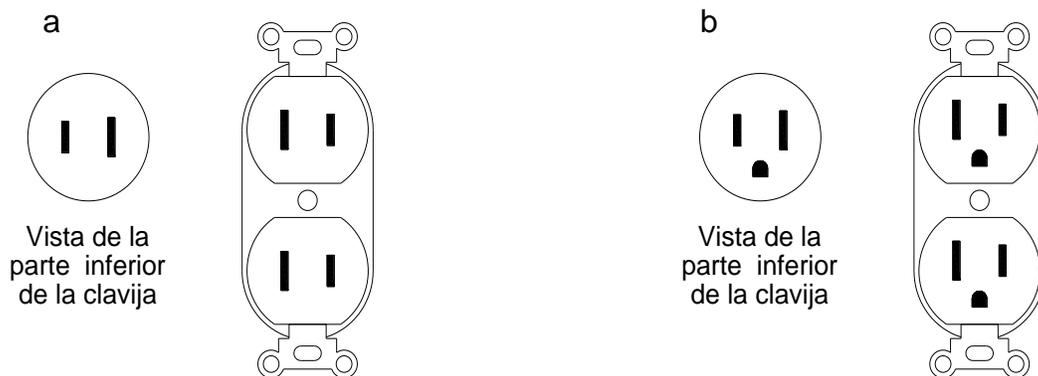


Fig. 2.1 – Receptáculos monofásicos

Si el aparato es defectuoso y el dueño lo maneja, podría recibir una descarga por falta de protección, (sobre todo las partes metálicas del aparato). Esta situación

⁸ H.P. Richter / Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas / pág. 143

fue la que condujo al desarrollo de lo que se llaman “receptáculos de aterrizaje” mostrados en la fig. 2.1(b), note que tal receptáculo tiene las dos ranuras paralelas para las lengüetas de una clavija común, más una tercera apertura redonda o en forma de U para una tercera lengüeta sobre la clavija correspondiente.

En uso, de la tercera lengüeta de la clavija se conecta a un alambre de aterrizaje separado en el cordón, conectado al marco de un motor o aparato, es decir, a cualquiera de las partes metálicas con las que el usuario puede tener contacto. El alambre de aterrizaje en el cordón es verde (con o sin una o más rayas amarillas). Sobre el receptáculo, las aberturas redondas o en forma de U conducen a un tornillo terminal verde especial que se conecta a la abrazadera o a la banda de montaje del receptáculo.

A su vez, cuando se instala un receptáculo, se debe conectar esta terminal verde a la tierra o aterrizaje. Si se usa un ducto o cable acorazado, el ducto o armazón metálico viene a ser el conductor de aterrizaje.

El cable sin armazón contendrá un alambre adicional, desnudo, además de los conductores aislados, y éste se debe aterrizar en las cajas. De esta manera, el marco del motor o aparato está efectivamente aterrizado, proporcionando seguridad adicional como se requiere para protección del usuario.

La forma en cómo conectar el conductor de aterrizaje para la terminal verde se discutirán en el Capítulo IV, en la sección “sistemas de tierras del sistema regulado”.

2.2 TIPOS DE CARGAS Y SU COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO

Teóricamente, existen tres tipos de carga básicos en un sistema eléctrico: resistivas, inductivas y capacitivas. Mientras que la energía eléctrica es consumida en las cargas puramente resistivas, la electricidad no se consume sino que se almacena idealmente en cargas inductivas y capacitivas. A pesar de que prácticamente todas las cargas y aparatos que tiene un consumidor en su casa o

negocio incorporan estos 3 tipos de cargas, resulta apropiado clasificarlas en forma separada como resistivas, inductivas y capacitivas. A continuación se presentan algunos ejemplos:

2.2.1 Cargas Resistivas.- En circuitos de corriente alterna las cargas puramente resistivas tienen la particularidad de aprovechar el valor de la tensión y la corriente al 100%, es decir, toda la energía eléctrica que toman de la línea la transforman en calor.

Algunos ejemplos de cargas resistivas son: Hornos de resistencias, focos incandescentes, parrillas, planchas, calentadores eléctricos, etc. Para este tipo de cargas se cumple la siguiente formula:

En corriente alterna la fórmula de la ⁹potencia, solo es cierta para cuando se tienen conectadas cargas puramente resistivas, en este caso la corriente y la tensión estarán en fase, aprovechándose sus valores en un 100%.

Haciendo la representación gráfica y vectorial de los valores de tensión y corriente en fase se tiene (fig. 2.2):

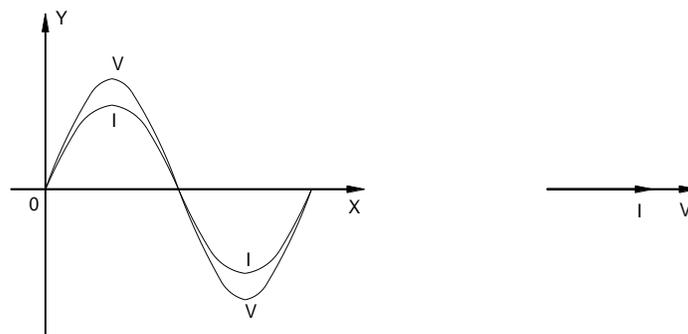


Fig. 2.2 – Tensión y corriente en fase (carga resistiva)

⁹ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 217

2.2.2 Cargas Inductivas: ¹⁰Las cargas inductivas como son los motores de inducción, hornos de arco, máquinas soldadoras, etc., tienen la particularidad de atrazar la corriente con respecto a la tensión, si la carga fuera 100% inductiva, el atrazo de la corriente sería de 90° geométricos.

La representación gráfica y vectorial bajo estas condiciones se muestra en la **figura 2.3**.

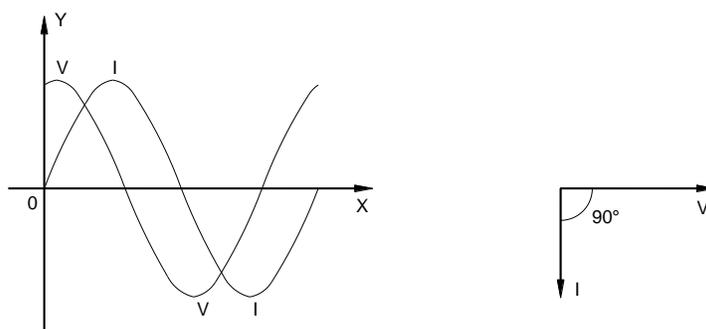


Fig. 2.3 - Defasamiento de la tensión y la corriente (carga inductiva)

Algunos ejemplos de cargas inductivas son los aparatos con motores y transformadores, como lavadoras, secadoras, aparatos de aire acondicionado, refrigeradores, motores de inducción, transformadores de electricidad, balastros de iluminación, hornos de inducción, soldadoras eléctricas, etc.

2.2.3 Cargas Capacitivas: Como baterías recargables, motores síncronos y capacitores, tienen la propiedad de adelantar la corriente con respecto a la tensión, el adelantar también podría ser de 90° geométricos si la carga fuera 100% capacitiva, como se muestra en la **figura 2.4**.

¹⁰ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 218

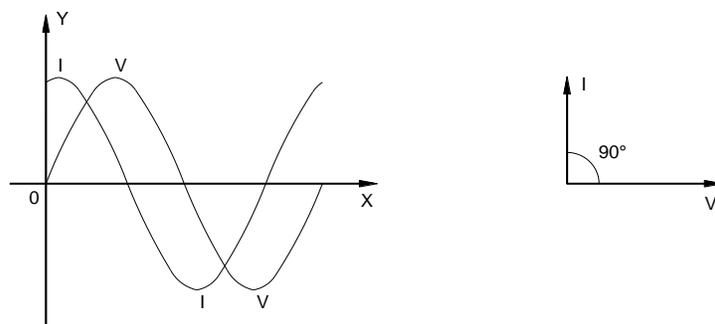


Fig. 2.4 - Defasamiento de la tensión y la corriente (carga capacitiva)

2.2.4 Combinación de Cargas

¹¹Una vez que se conocen los tres tipos de cargas por conectar y la posición que guarda en cada caso el vector corriente con respecto al vector tensión que se toma como eje o plano de referencia, es obligatorio tener presente, que en todo circuito o instalación real, es imposible tener el 100% de solo un tipo de carga y que, solamente para cálculos aproximados (hasta 2% de error) se consideran cargas puramente resistivas, por lo demás, todo cálculo se hace tomando en cuenta que pueden tenerse las siguientes combinaciones:

- a) Cargas resistivas e inductivas
- b) Cargas resistivas y capacitivas
- c) Cargas inductivas y capacitivas
- d) Cargas resistivas, inductivas y capacitivas

De las combinaciones anteriores, el ángulo entre los vectores tensión y corriente o ángulo de defasamiento podría ser mayor o menor de 45° ($\cos 45^\circ = 0.7071$) adelantado o atrasado según el tipo de carga que prevaleciera, sin embargo, generalmente es atrasado y cercano su valor a 0° (cero grados) pues no es permitido tener un factor de potencia o $\cos\phi$ menor de 0.85 (ángulo de defasamiento no mayor de 31°) ya que, de acuerdo con el reglamento para el suministro de energía eléctrica, el consumidor está obligado a mantener un factor

¹¹ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / págs. 219 y 220

de potencia tan aproximado a 1 o al 100% como sea práctico o podría pagar un recargo por cada K.V.A. extra que se le suministre para una demanda dada, si el factor de potencia es bajo (menor de 0.85).

2.3 EL FACTOR DE POTENCIA

Para el caso del USPC, el factor de potencia o $\cos\phi$ que se utilizó para los cálculos de todos los circuitos derivados, es de 0.9 generalizado, sin embargo se debe de tener en cuenta que dependiendo de las cargas conectadas éste puede variar.

Los valores recomendables para el factor de potencia (F.P.) o $\cos\phi$ fluctúan entre 0.9 y 0.95 correspondientes a ángulos de desfasamiento entre 25 y 18 grados respectivamente.

2.3.1 Corrección del factor de potencia

Con el valor del factor de potencia por debajo de 0.85, el costo por el servicio eléctrico se ve incrementado con los K.V.A. extra suministrados, según se mencionó anteriormente.

Teniendo en cuenta que normalmente se tiene carga puramente resistiva o bien, resistiva e inductiva, dando origen la segunda a un ángulo de desfasamiento, corregir el F.P., no es más que calcular la potencia del Banco de capacitores para reducir dicho ángulo hasta un valor recomendable para así, poder aprovechar al máximo dentro de ciertos límites la potencia aparente o de la línea que es proporcionada por la compañía suministradora de la energía eléctrica.

Por otra parte, dado que la corriente que fluye en cargas inductivas y capacitivas están medio ciclo fuera de fase, es posible hacer que sumen cero en un momento determinado ajustando sus magnitudes, y reduciendo por tanto la magnitud de la corriente que fluye a través del medidor eléctrico (que mide kW-hora).

Esta es la esencia de la “corrección del factor de potencia”, en la cual se establece una situación donde la corriente de carga inductiva es balanceada por la corriente de carga capacitiva, reduciendo la corriente total al mínimo. Mientras mayor sea el factor de potencia, la corriente total es menor. La corriente que pasa a través del cableado instalado en el medidor es contabilizada sumando todas las cargas individuales resistivas, inductivas y capacitivas que fluyen hacia la instalación eléctrica.

Las empresas de energía eléctrica generalmente requieren que los consumidores industriales (y comerciales) mantengan un factor de potencia igual o mayor al 0.9, ya que factores menores representan un costo mayor de generación, y por lo tanto penalizan a los consumidores industriales (y comerciales) con un cargo extra por bajo factor de potencia.

2.4 EL TRIÁNGULO DE POTENCIAS

Al tenerse en un circuito o instalación eléctrica cargas ¹²inductivas y resistivas, las primeras dan origen a un ángulo de desfase atrasado como se muestra en la Fig. 2.5.

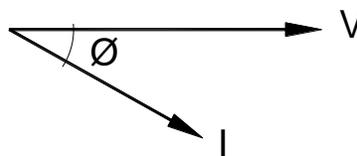


Fig. 2.5 – ángulo de desfase

Bajo las anteriores condiciones, en este caso la potencia aparente y la potencia útil, son diferentes, es decir:

La potencia aparente: $P_{APARENTE} = VI$ (V.A.)

La potencia útil: $P_{ÚTIL} = VI \cos\phi$ (Watts)

¹² Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 221 a 223

$$\cos \emptyset = \frac{\text{Watts}}{\text{V.A.}}$$

Para este caso y todos los similares, al existir ángulo de desfase, el $\cos\emptyset$ o F.P., siempre es menor que la unidad, cuyo valor puede interpretarse como el tanto por ciento de lo que se aprovecha la potencia aparente o de la línea.

Para mejor entender el porqué sólo se aprovecha un tanto por ciento de la potencia aparente cuando se tienen cargas inductivas, es necesario indicar en un sistema de ejes coordenados los vectores tensión y corriente con un ángulo de desfase \emptyset , como se muestra en la Fig. 2.6

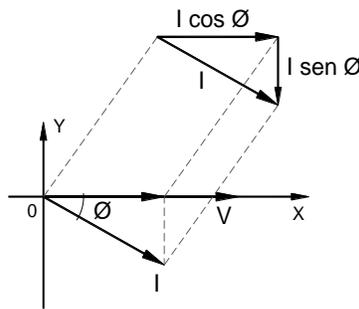


Fig. 2.6 – Vectores tensión y corriente en el eje coordenado

La corriente que desarrolla trabajo efectivo, es solamente la que está en fase con la tensión, en este caso es la que está proyectada sobre el eje “X”, (**I cos∅**), y la corriente proyectada sobre el eje “Y” (**I sen∅**), es la que provee al campo inductor.

Ahora bien, con esta información podemos concluir que la relación existente entre la potencia aparente y la potencia real, está en función de la potencia reactiva de la carga, lo que quiere decir que cuanto mayor sea la potencia reactiva de la carga mayor será el **cos∅** ó F.P. y la potencia real o útil, será cada vez menor comparada con la potencia aparente.

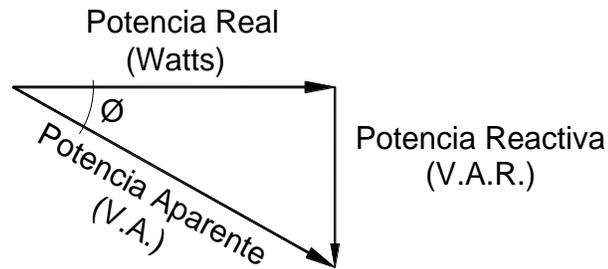


Fig. 2.7 – El triángulo de potencias

En la figura 2.7 el triángulo de potencias presenta la relación que hay entre la potencia real y la potencia aparente, junto con sus unidades, “watts” y “volts amperes” respectivamente. La potencia reactiva tiene unidades de “volts amperes reactivos” (V.A.R.)

Los tipos de cargas que se pueden conectar al sistema eléctrico mediante los contactos o receptáculos son muy variadas, sin embargo para fines de la elaboración del proyecto eléctrico, se toma en consideración los artículos **210-21** y **210-22** de la **NOM-001-SEDE-2005**.

Pero con el fin de no sobrepasar la capacidad máxima de los circuitos derivados, el ¹³criterio de diseño que se ha tomado para la realización de todos los proyectos eléctricos de contactos normales de uso general, es el de tomar cada salida de contacto con un valor de 180 Watts sin exceder los 8 contactos para circuitos derivados de 15 Amp. y 10 contactos para circuitos derivados de 20 Amp. en ambos casos el calibre mínimo del conductor a utilizar será el cal. 10 AWG.

En caso de requerir en alguna sección del edificio más de 10 receptáculos, el criterio a seguir es el de aumentar el número de circuitos derivados que hagan falta para cubrir la cantidad de contactos solicitados, sin exceder de 3 circuitos derivados por cada canalización.

¹³ Criterios de Diseño del Proyecto Eléctrico del USPC

Para el caso en que las cargas sean especiales o de algún modo están definidas por especificaciones del proyecto, cada salida de contacto se considerará de la capacidad requerida (500W, 600W, 700W, etc.) según sea el caso, nuevamente sin exceder los 1,400 Watts para circuitos derivados de 15 Amp y 1,800 Watts para circuitos derivados de 20 Amp. en este caso los receptáculos deberá de ser especificados con la capacidad nominal de corriente requerida.

Otro tipo de cargas que nos encontramos muy frecuentemente en cualquier edificación, son los motores, los cuales se verán más a detalle a continuación.

2.5 EL SISTEMA DE FUERZA

Existe una gran variedad de motores eléctricos, tanto de corriente directa como de corriente alterna. En este informe nos ocuparemos principalmente de los motores de corriente alterna ya que son los comúnmente utilizados en edificaciones.

En el caso del edificio del USPC, tenemos motores en el cuarto de máquinas para el equipo de bombeo, el sistema contraincendios, el elevador, y los pequeños motores de los ventiladores que se conectan al sistema a través del servicio de contactos normales.

Para profundizar un poco en el análisis del sistema de fuerza, a continuación se describen brevemente algunos motores de corriente alterna.

2.5.1 Clasificación de los motores eléctricos de corriente alterna

Los motores de corriente alterna se dividen en dos grandes grupos:

- a) Síncronos.
- b) Asíncronos o de inducción.

a) Los motores síncronos poseen una velocidad en RPM que está en función exclusiva de la frecuencia de alimentación y del número de polos que tiene. Esto quiere decir que para variar la velocidad del eje hay dos formas de hacerlo:

1. Cambiando el número de polos, lo que es meramente conceptual y poco práctico.
2. Cambiando la frecuencia de la alimentación eléctrica, lo cual es más usado.

En este tipo de motores, se suele decir que el campo eléctrico del rotor (generado por un electroimán) sigue al campo magnético giratorio y uniforme generado por el estator.

Para redondear, estos motores poseen una regulación de velocidad del 0%, siempre y cuando el par que aplique sea menor al máximo.

b) Los motores asíncronos o de inducción se dividen en motores tipo Jaula de ardilla los cuales son considerados de velocidad constante; y motores de Anillos rozantes también conocidos como Rotor Devanado, los cuales son de velocidad variable.

Los motores asíncronos o de inducción, están basados en el accionamiento de una masa metálica por la acción de un campo magnético giratorio, están formados por dos armaduras con campos giratorios coaxiales: una fija, y la otra móvil. También se les llama, respectivamente, estator y rotor.

El devanado del rotor, que conduce la corriente alterna que se produce por inducción desde el devanado del estator conectado directamente, consiste de conductores de cobre o aluminio vaciados en un rotor de laminaciones de acero. Se instalan anillos terminales de cortocircuito en ambos extremos de la “jaula de ardilla” o bien en uno de los extremos en el caso del rotor devanado.

Los motores de inducción de rotor devanado son los menos utilizados, debido a su mayor costo, y a que requieren de más mantenimiento que los de jaula de ardilla.

2.5.2 Corriente de entrada a un motor

Cuando el interruptor de energía es encendido, un motor estacionario actúa como un corto circuito causando una corriente más alta que la normal. Conforme pasa el tiempo el campo magnético se incrementa y el motor comienza a girar, alcanzando una condición estable en rpm (revoluciones por minuto) y con ello la corriente cae a valores normales.

Esta corriente más alta es llamada “corriente de entrada de motor”, la cual tiene un mínimo impacto en el consumo total de energía pero afecta de manera adversa la vida útil del motor al forzar su cableado. La magnitud de esta corriente está en función de los caballos de fuerza (hp) del motor y sus características de diseño.

En una instalación eléctrica cuando se tiene un motor por conectar, el circuito derivado correspondiente estará provisto de conductores eléctricos que tengan una capacidad de corriente como mínimo del 125% de la corriente de la placa, corriente a plena carga o corriente nominal.

Cuando se tienen varios motores, los conductores eléctricos alimentadores (alimentadores generales), se calculan por corriente y por caída de tensión, tomando como base que como máximo van a transportar el 125% de la corriente de motor de mayor potencia, más la corriente de placa de los demás motores y como mínimo, la corriente de arranque del motor de mayor potencia.

Por otra parte en una instalación de fuerza no todos los motores trabajan en forma simultánea, es aplicable, por criterio del proyectista, o por diseño, un factor de demanda para determinar el valor de la corriente corregida, que es con la que finalmente se calcula la sección transversal de los conductores eléctricos (área del cobre), evitándose con ello grandes calibres.

Sin embargo, en las instalaciones de cualquier tipo en las que se prevé un aumento posterior de la carga, es aconsejable no corregir el valor de la corriente, dejando así automáticamente sobrados los calibres de los alimentadores generales.

En el caso de la instalación eléctrica de USPC, tenemos motores monofásicos en la fuente de la plaza y motores trifásicos tanto en el cuarto de maquinas como en el elevador. Para calcular los conductores alimentadores de cada motor se tomo como base la corriente indicada en la norma oficial mexicana.

Para el caso de los motores monofásicos utilizamos la tabla 430-148 de la NOM-001-SEDE-2005; y la tabla 430-150 para los motores trifásicos; dichas tablas se presentan a continuación.

2.5.3 Tablas aplicables de la NOM-001-SEDE-2005

Las siguientes tablas son extraídas de la ¹⁴Norma Oficial Mexicana, utilizadas en la selección de la corriente de los motores monofásicos y trifásicos para el desarrollo de proyectos eléctricos.

¹⁴ Secretaría de Energía / Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 / Tabla 430-148 y Tabla 430-150

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

Los siguientes valores de corriente eléctrica a plena carga son para motores que funcionen a velocidades normales y con características de par también normales. Los motores de velocidad especialmente baja o de alto par motor pueden tener corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varía con la velocidad, en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos. Las tensiones eléctricas listadas son nominales de motores. Las corrientes eléctricas listadas deben utilizarse para tensiones eléctricas de sistemas en los intervalos de 110 V hasta 120 V y 220 V hasta 240 V.

KW	CP	115 V	127 V	208 V	230 V
0.12	1/6	4.4	4.0	2.4	2.2
0.19	1/4	5.8	5.3	3.2	2.9
0.25	1/3	7.2	6.5	4	3.6
0.37	1/2	9.8	8.9	5.4	4.9
0.56	3/4	13.8	11.5	7.6	6.9
0.75	1	16	14.0	8.8	8
1.12	1-1/2	20	18.0	11	10
1.50	2	24	22.0	13.2	12
2.25	3	34	31.0	18.7	17
3.75	5	56	51.0	30.8	28
5.60	7-1/2	80	72.0	44	40
7.50	10	100	91.0	55	50

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

Los siguientes valores de corriente eléctrica a plena carga son típicos para motores que funcionen a velocidades normales para transmisión por banda y con características de par también normales. Los motores de velocidad especialmente baja o de alto par pueden requerir corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples deben tener una corriente a plena carga que varía con la velocidad; en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos. Las tensiones eléctricas listadas son nominales de motores. Las corrientes listadas deben usarse para sistemas de tensiones eléctricas nominales de 110 V hasta 120 V, 220 V hasta 240 V, 440 V hasta 480 V y 550 V hasta 600 V.

KW	CP	Motor de inducción Jaula de ardilla y rotor devanado, en amperes (A)						Motor síncrono, con factor de potencia unitario, en amperes (A)					
		V											
		115	200	208	230	460	575	2,300	230	460	575	2,300	
0.37	½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9						
0.56	¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3						
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7						
1.12	1-	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4						
1.50	½	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7						
2.25	2		11.0	10.6	9.6	4.8	3.9						
3.75	3		17.5	16.7	15.2	7.6	6.1						
5.60	5		25.3	24.2	22	11	9						
7.46	7-		32.2	30.8	28	14	11						
11.2	½		48.3	46.2	42	21	17						
	10												

14.9	15		62.1	59.4	54	27	22					
18.7	20		78.2	74.8	68	34	27		53	26	21	
22.4	25		92	88	80	40	32		63	32	26	
29.8	30		120	114	104	52	41		83	41	33	
37.3	40		150	143	130	65	52		104	52	42	
44.8	50		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
56.0	60		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
75.0	75		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
93.0	100		359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
111.9	125		414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
149	150		552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
187	200					302	242	60				
224	250					361	289	72				
261	300					414	336	83				
298	350					477	382	95				
336	400					515	412	103				
373	450					590	472	118				
	500											

Para factor de potencia de 90% y 80%, las cantidades anteriores deben multiplicarse por 1.1 y 1.25, respectivamente.

2.5.4 Datos de la placa

Una vez teniendo en cuenta los datos de las tablas anteriores, hay que tener presente que todos los motores eléctricos traen de fábrica sus características complejas grabadas en una placa metálica pegada a la carcasa, a dichas

características técnicamente se les conoce como “datos de placa”, en los que se indica marca y nombre del fabricante, potencia, corriente, tensión, velocidad, frecuencia, etc.

Para el caso del proyecto al que hago mención en este informe (el USPC), durante el diseño del proyecto eléctrico, no contaba con la especificación del equipo en el cuarto de maquinas, por lo que el cálculo de alimentadores se basó en un estimado de la carga y por tal motivo se utilizó la tabla **430-150** de la **NOM-001-SEDE-2005**, para determinar el alimentador principal del tablero de fuerza o CCM que se encuentra en el cuarto de máquinas.

2.6 PROTECCIÓN Y CONTROL PARA MOTORES

Para la correcta instalación de motores eléctricos bajo las mejores condiciones técnicas y de seguridad, es necesario tomar en cuenta el tipo de corriente de que se dispone, tensión, frecuencia, sistema, tipo de motor, etc.

2.6.1 Arrancadores

¹⁵El control más económico y en consecuencia más empleado para los motores de inducción Jaula de ardilla, es mediante el empleo del “Arrancador a Tensión completa”.

Este tipo de control, tiene como inconveniente la aplicación súbita de un par mayor que el de a plena carga, el cual puede dañar la flecha de la máquina movida (torciéndola o rompiéndola en el peor de los casos) y producir además perturbaciones en el sistema eléctrico, debido a la caída de tensión súbita producida por alta corriente de arranque del motor. Las perturbaciones en el sistema eléctrico pueden constatarse por el parpadeo o cintileo de las lámparas e inclusive en ocasiones se provoca el paro de otros motores.

Por las razones anteriores, no es recomendable el uso de los arrancadores a tensión plena para motores medianos y grandes (de 15 HP en adelante), y en su

¹⁵ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 204

lugar son muy recomendables los “Arrancadores a Tensión Reducida”, de manera que se pueda reducir el par y la corriente de arranque.

La corriente podrá reducirse lo más que permita la reducción del par, siendo el valor mínimo de éste, el que determina la tensión que debe aplicarse.

Con estas características podemos adquirir como norma practica, que para motores pequeños de hasta 1HP se puede realizar la conexión directamente a la línea sin riesgo de dañarlos o provocar perturbaciones en el sistema eléctrico.

Para motores mayores y hasta 10 HP, se recomienda protegerlos con “Arrancadores a Tensión Completa”, conocidos también como “arrancadores a Tensión Plena”.

Por último para los motores de 15 HP en adelante, se requiere por norma, el uso de “Arrancadores a Tensión Reducida”, para que al arrancar no se produzcan perturbaciones en el sistema eléctrico.

2.6.2 Arrancador magnético a tensión plena

En la figura 2.8 se muestra el diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con un arrancador magnético a Tensión Completa, la secuencia de operación es la siguiente:

¹⁶Al apretar el botón de arranque (A), instantáneamente se cierra el contacto de enclave o también conocido como contacto de sello (C.S.), se energiza la bobina (B), y se cierran los contactos (B) quedando el motor conectado a la línea. Los elementos térmicos del motor (OL), sirven de protección al circuito, ya que en el momento de una sobrecarga o sobretensión, desconectan el circuito a través de los relevadores de sobrecarga (OL), desenergizando la bobina (B), abriendo los contactos (B) quedando el motor desenergizado.

¹⁶ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 205

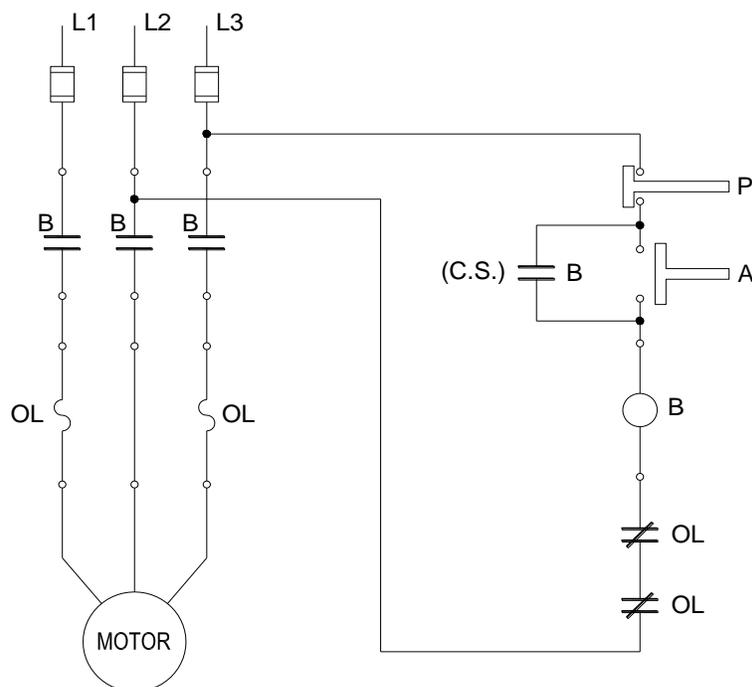


Fig. 2.8 – Arrancador Magnético a Tensión Plena

2.6.3 Arrancador magnético a tensión reducida

En la figura 2.9 se muestra el diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con un arrancador magnético a Tensión Reducida, la secuencia de operación es la siguiente:

¹⁷Al oprimir el botón de arranque (A), se energiza la bobina T.R. en 10, se cierran los contactos T.R. en 8 y 9, el contacto en 9 es de enclave, el contacto en 8 energiza la bobina (M) que cierra sus contactos en 2,4 y 6, quedando el motor conectado a la línea a través de resistencias, las que provocan una caída de tensión haciendo que el motor quede alimentado a tensión reducida. El mismo contacto en 8 deja preparado el circuito para que el contacto T.R. en 7 que es el relevador de tiempo, al cerrar energiza a la bobina (A), haciendo que el motor quede alimentado a la tensión de la línea al cerrar los contactos (A).

¹⁷ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 206

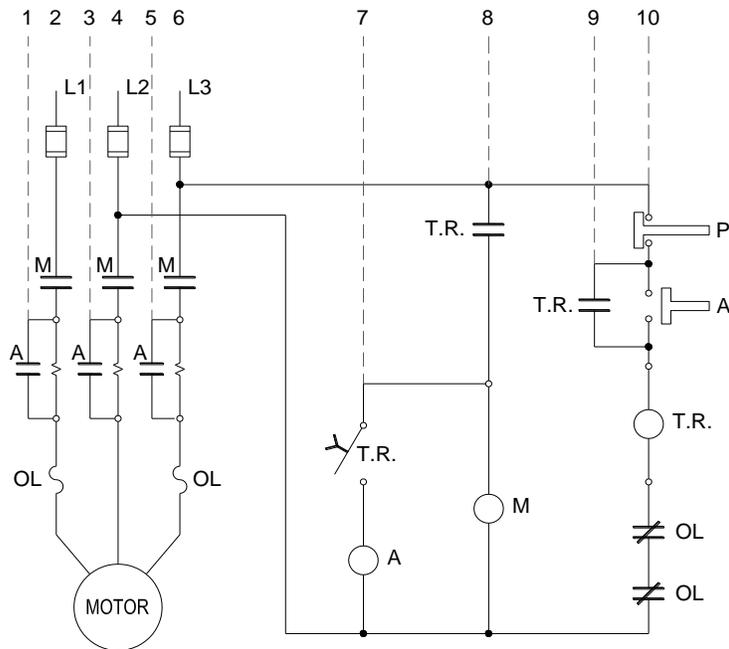


Fig. 2.9 – Arrancador Magnético a Tensión Reducida

Nuevamente los elementos térmicos del motor (OL) en 2 y 6, sirven de protección al circuito, ya que en el momento de una sobrecarga o sobretensión, desconectan el circuito a través de los relevadores de sobrecarga (OL) en 10, desenergizando la bobina (T.R.) que a su vez desenergiza la bobina (M) en 8, abriendo los contactos (M) en 2,4, y 6 quedando el motor desenergizado.

2.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Tratándose de instalaciones eléctricas en edificios, debe tenerse presente las siguientes condiciones:¹⁸

- A. Las instalaciones eléctricas en un edificio por lo general son muy complejas debido al gran número de circuitos derivados que pueden requerirse, por otra parte existen diferentes sistemas en las instalaciones, como son: el sistema de alumbrado, el sistema de contactos normales, el sistema de contactos

¹⁸ Ing. Becerril L. Diego Onésimo / INSTALACIONES ELECTRICAS PRACTICAS / pág. 207

regulados, y el sistema de fuerza; entre otros, y es por ello que se hace necesario considerar que las canalizaciones sean totalmente independientes unas de otras.

- B. Por lo anterior, es evidente que hay necesidad de disponer de diferentes planos para los diferentes sistemas eléctricos, es decir, un plano para el proyecto de alumbrado, un plano para el proyecto de contactos normales, un plano con el proyecto de contactos regulados, un plano para el proyecto de fuerza (motores), planos de instalaciones especiales, entre los que figuran los planos de cableado estructurado, sistema de CCTV, sensores de movimiento, entre otros.
- C. La localización de motores se hace por medio de pequeños círculos o polígonos con un número dentro para su completa identificación y por separado en forma ordenada en un lugar visible dentro del plano se expresa claramente a que motor o maquina corresponden, a esta forma de identificación dentro del plano la llamamos nomenclatura.
- D. De la misma forma que lo hacemos en los proyectos de alumbrado y contactos, al identificar a que circuito derivado corresponden todas y cada una de las luminarias o contactos dentro del plano, así mismo se identifican los motores, indicando a que cuadro de cargas corresponden, ahí se indicará el alimentador y la protección adecuada para cada circuito derivado o motor.

2.8 CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS DE CONTACTOS

Fórmulas:

$$I_N = \frac{P}{V_n * \cos \emptyset}$$

Donde:

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

P = Potencia en Watts.

V_n = Tensión al neutro en Volts.

$\cos \emptyset$ = Factor de Potencia.

Por conducción de corriente (Ampacidad)

$$I_C = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

Donde:

I_C = Corriente corregida en Amperes.

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

F_T = Factor de Temperatura.

F_A = Factor de Agrupamiento.

Por caída de tensión.

$$S_{Cu} = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (\%e)}$$

Donde:

S_{Cu} = Sección transversal del conductor en mm².

I_N = Corriente nominal del circuito derivado en Amperes.

L = Longitud en metros del tablero a cada circuito correspondiente.

V_n = Tensión al neutro en Volts.

$\%e$ = Caída de tensión en por ciento.

2.8.1 Cálculo del circuito derivado "C-7"

Datos:

$P = 1,800 \text{ W}$

$V_n = 127 \text{ V}$

$L = 28 \text{ m}$

$\text{Cos } \emptyset = 0.9$

$\%e = 3.0 \%$ (menor al 3%)

$F_A = 1.0$ (3 conductores activos)

$F_T = 1.0$

Por ampacidad

$$I_N = \frac{P}{V_n * \cos \emptyset} = \frac{1,800}{127 * 0.9} = 15.75 \text{ Amp.}$$

Debido a que se trata de un circuito derivado, y de acuerdo a la norma; se permite agruparlo con otros circuitos derivados en una sola canalización, con la condición de afectar los conductores eléctricos, con el factor de agrupamiento y el factor de temperatura, de acuerdo al artículo **310-15g**, tenemos:

$$I_c = \frac{I_N}{F_T * F_A} = \frac{15.75}{1.0 * 1.0} = 15.75 \text{ Amp.}$$

Con la corriente corregida (I_c) seleccionamos el conductor adecuado según la tabla **310-16** de la **NOM-001-SEDE-2005**, la cual corresponde para un conductor calibre 14 AWG, sin embargo por criterios de diseño, se utilizara un calibre **10 AWG**, como mínimo para los circuitos derivados de contactos.

Ahora, calculando la sección del conductor seleccionado para la corriente obtenida y la distancia considerada:

$$S_{cu} = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (\%e)} = \frac{4 * 28 * 15.75}{127 * 3.0} = 4.63 \text{ mm}^2$$

La cual corresponde a una sección transversal para un conductor calibre **10 AWG** que es igual a **5.26 mm²**

Por lo que el conductor seleccionado es el calibre **10 AWG**.

Cálculo de la caída de tensión de acuerdo al calibre del conductor seleccionado:

$$\%e = \frac{4 * L * I_N}{V_n * (S_{Cu})} = \frac{4 * 28 * 15.75}{127 * 5.26} = 2.64 \%$$

Finalmente, su cédula de cableado es:

2 - 10 AWG

1 - 12 AWG desnudo (T.F.)

En tubería conduit pared delgada galvanizada de 13 mm de diámetro.

Nota:

El conductor para tierra física, se selecciona de la tabla **250-95** “Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos” de la **NOM-001-SEDE-2005**, de acuerdo a la capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente, el cual se calcula en el punto 2.9.

Para seleccionar la tubería adecuada consultamos la Tabla 1.6 del capítulo I, y verificamos que la suma del área de la sección transversal de todos los conductores o cables en una canalización no exceda el 40% de la sección transversal interior de la canalización. (Tabla 10-4) en el capítulo 10 de la **NOM-001-SEDE-2005**.

2.9 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

$$I_D = 1.25 * I_N$$

Donde:

I_D = Corriente de disparo en Amperes

I_N = Corriente nominal en Amperes

2.9.1 Cálculo del interruptor termomagnético del circuito derivado “C-7”

$$I_D = 1.25 * 15.75 \text{ Amp.} = 19.69 \text{ Amp.}$$

Que corresponde a un interruptor termomagnético de 1 polo, 20 amperes ó **1P-20A**

Para este dispositivo de protección corresponde un conductor de cobre desnudo para la conexión de puesta a tierra calibre 12 AWG, según la **tabla 250-95** de la **NOM-001-SEDE-2005**, y además según el criterio de diseño el calibre menor del conductor de puesta a tierra, será calibre **12 AWG**.

2.10 CÁLCULO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL

Fórmulas:

$$C_T = (C_{\text{CONECTADA}} * F_D) + \text{RESERVA}$$

Donde:

C_T = Carga total en Watts

$C_{\text{CONECTADA}}$ = Carga conectada en Watts

F_D = Factor de demanda (para el caso de carga de contactos se considerará $F_D = 100\%$)

Reserva = 0

Por conducción de corriente (Ampacidad)

$$I_N = \frac{C_T}{(3)^{1/2} * V_f * \cos \emptyset}$$

Donde:

I_N = Corriente nominal en Amperes

C_T = Carga total en Watts

V_f = Tensión entre fases en Volts.

$\cos \emptyset$ = Factor de potencia

$$I_c = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

Donde:

I_c = Corriente corregida en Amperes.

I_N = Corriente Nominal en Amperes.

F_T = Factor de Temperatura.

F_A = Factor de Agrupamiento.

Por caída de tensión

$$S_{Cu} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I_N}{V_f * (\%e)}$$

Donde:

S_{Cu} = Sección transversal del conductor en mm^2 .

I_N = Corriente nominal en Amperes.

L = Longitud en metros del tablero a cada circuito correspondiente.

V_f = Tensión entre fases en Volts.

$\%e$ = Caída de tensión en por ciento.

2.10.1 Cálculo del alimentador principal del tablero "C"

Datos:

$$C_{\text{CONECTADA}} = 40,642 \text{ W}$$

$$F_D = 1.0 \text{ (para la carga de alumbrado)}$$

$$V_f = 220 \text{ Vca}$$

$$L = 45 \text{ m}$$

$$\text{Cos } \emptyset = 0.9$$

$$\%e = 2.0 \% \text{ (máximo)}$$

$$F_A = 1.0 \text{ (3 conductores activos en una canalización)}$$

$$F_T = 1.0$$

Por ampacidad:

$$C_T = (C_{\text{CONECTADA}} * F_D) + \text{RESERVA}$$

$$C_T = (40,642 * 1.0) + 0.0 = 40,642 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{C_T}{(3)^{1/2} * V_f * \text{cos } \emptyset}$$

$$I_N = \frac{40,642}{(3)^{1/2} * 220 * 0.9} = 118.51 \text{ Amp.}$$

$$I_C = \frac{I_N}{F_T * F_A}$$

$$I_C = \frac{118.51}{1.0 * 1.0} = 118.51 \text{ Amp.}$$

Con la corriente corregida (I_c) seleccionamos el conductor adecuado según la tabla **310-16** de la **NOM-001-SEDE-2005**, la cual corresponde a un conductor calibre **1/0 AWG**. sin embargo por criterios de diseño, se utilizará un calibre **4/0 AWG** como mínimo para el alimentador principal del tablero "C", ya que este conductor tiene la capacidad de conducción adecuada para cubrir la demanda máxima que pudiera tener el tablero seleccionado, y que en este caso es de 225 Amp.

Por caída de tensión:

$$S_{Cu} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I_N}{V_f * (\%e)}$$

$$S_{Cu} = \frac{2 * 1.732 * 40 * 118.51}{220 * 2.0} = 41.98 \text{ mm}^2$$

La cual corresponde a una sección transversal para un conductor calibre **1/0 AWG** que es igual a 53.48 mm²

Pero por lo expuesto anteriormente el conductor seleccionado será el calibre **4/0 AWG**, cuya sección transversal es de 107.2 mm².

Cálculo de la caída de tensión de acuerdo al calibre del conductor seleccionado:

$$\%e = \frac{2 * 1.732 * 45 * 118.51}{220 * 107.2} = 0.78 \%$$

Por lo que el cable del alimentador para este circuito será calibre **4/0 AWG**

Finalmente, su cédula de cableado es:

4 – 4/0 AWG

1 - 4 AWG desnudo (T.F.)

En tubería conduit pared gruesa galvanizada de 63 mm de diámetro.

Nota:

El conductor para tierra física, se selecciona de la tabla **250-95** “Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos” de la **NOM-001-SEDE-2005**, de acuerdo a la capacidad o ajuste del **dispositivo automático de protección** contra sobrecorriente, el cual se calcula en el punto 2.11.

Para seleccionar la tubería adecuada consultamos la Tabla 1.6 del capítulo I (pág.41), y verificamos que la suma del área de la sección transversal de todos los conductores o cables en una canalización no exceda el 40% de la sección transversal interior de la canalización. (Tabla 10-4) en el capítulo 10 de la **NOM-001-SEDE-2005**.

2.11 CÁLCULO DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO PRINCIPAL

$$I_D = 1.25 * I_N$$

Donde:

I_D = Corriente de disparo en Amperes

I_N = Corriente nominal en Amperes

2.11.1 Cálculo del interruptor termomagnético principal del tablero “A”

$$I_D = 1.25 * 113.46 \text{ Amp.} = 141.83 \text{ Amp.}$$

Que corresponde a un interruptor termomagnético de 3 polos, 150 amperes ó **3P-150 A**

Para este dispositivo de protección corresponde un conductor de cobre desnudo para la conexión de puesta a tierra, calibre **6 AWG**, según la **tabla 250-95** de la **NOM-001-SEDE-2005**.

Por criterios de diseño, en el proyecto del USPC los alimentadores principales se dejaron sobrados, con la capacidad para soportar la carga máxima de cada tablero, esto debido a la constante variación de cargas en diferentes épocas del año.

Para los cálculos de los demás circuitos derivados y protecciones, ver el cuadro de cargas del **capítulo 1, en el punto 1.17**.

Para la consulta de la totalidad de circuitos derivados y alimentadores, así como las protecciones requeridas, consultar también los planos correspondientes a cuadros de cargas, diagrama unifilar y alimentadores generales en el capítulo 6.

2.12 LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS ELÉCTRICOS DE CONTACTOS

En general para el desarrollo de proyectos eléctricos, se han establecido en la práctica algunos lineamientos que sirven de referencia para la elaboración de los planos que integran el proyecto eléctrico, a continuación se presentan los más representativos:

- I. Las tuberías y accesorios deberán presentarse sobre los planos en la forma comúnmente acostumbrada, indicando los diámetros, el número de conductores y sus calibres, en la porción media de las tuberías por medio de la cédula de cableado.

- II. En cada salida de contactos deberá indicarse lo siguiente:

- 1) El tablero al que pertenece. Con una letra mayúscula en un lado de la unidad.
 - 2) El circuito al que corresponde. Con un número arábigo, junto a la letra mayúscula, que indica el tablero separado con un guión.
 - 3) Servicio Normal o de Emergencia. El Servicio normal no lleva ninguna anotación.
 - 4) El Servicio de emergencia se indicará con UNA o DOS ZONAS NEGRAS en los extremos de la unidad.
-
- III. El cableado de los circuitos de contactos deberá proyectarse con calibre THW cal. 10 AWG como mínimo, procurando que en la mayoría de los casos, la caída máxima permisible de tensión se ajuste a dicho calibre.
 - IV. Como máximo no se permitirán más de 8 conductores en cada tubería y por ningún motivo deberán proyectarse neutros comunes a dos o más circuitos derivados.
 - V. Cuando en una misma canalización se tengan conductores de diferentes calibres, se deberá indicar por lo menos en tres tramos de tubería el o los circuitos derivados alimentados por esos calibres.
 - VI. No tener más de 5 llegadas de tubería a una misma caja de conexión.
 - VII. La carga en los circuitos de contactos no deberá exceder de 1500 a 2000 watts.
 - VIII. No llevar en las canalizaciones de los circuitos de contactos alimentadores para circuitos de áreas diferentes.

- IX. Las canalizaciones para el sistema de contactos será independiente de las canalizaciones de otro tipo de sistema.

- X. Se deberán considerar circuitos separados para los aparatos siguientes:
Relojes Marcadores, Relojes de pasillos, los cuales se conectarán al servicio de emergencia.

- XI. Protección y control de circuitos:
1200 Watts Interruptor Termomagnético de 15 A
1500 Watts Interruptor Termomagnético de 20 A

CAPÍTULO III

“SISTEMA DE ENERGÍA REGULADA”

En el desarrollo de proyectos eléctricos, nos encontramos con una gran diversidad de obras que por su importancia o por la utilización que tendrán, requerirán de un suministro confiable de energía. Sin embargo, en la actualidad el servicio de suministro eléctrico no es 100% confiable, debido a constantes interrupciones en el servicio.

Este hecho ha obligado a los ingenieros en materia, a encontrar diversas alternativas para garantizar el suministro. Entre las más destacadas se encuentran la generación a través de plantas de emergencia y la utilización de los sistemas de energía ininterrumpible, conocidos como UPS por sus siglas en inglés “Uninterruptible Power System”; siendo estos sistemas la mejor opción al tratarse de energía de calidad, o energía regulada.

La Calidad de Energía debe asegurar la continuidad y la confiabilidad de operación de la tecnología a nuestro servicio. Cualquier desviación de los estándares de calidad (127 Vca, 60 Hz) y la presencia de problemas de energía eléctrica significa que la Calidad de la Energía no es buena.

Pero a diferencia de una planta de emergencia, un UPS no genera energía eléctrica, solo transforma de un sistema de corriente continua (baterías), a corriente alterna con las características adecuadas de regulación para su utilización en los sistemas eléctricos.

En presencia de un corte en el suministro eléctrico, un UPS dependerá únicamente de la carga que conserve en sus baterías para continuar operando y entregando a su salida un voltaje regulado, pero este servicio solo durará un cierto tiempo, el cual depende de la carga conectada y de la capacidad de su banco de baterías.

Una forma de aumentar la confiabilidad y garantizar la continuidad en el servicio del sistema regulado (UPS), es mediante la combinación del suministro eléctrico de la red y el suministro que proporciona una planta de emergencia, a través de un tablero de transferencia, de tal manera que cuando exista un corte en el suministro eléctrico de la red, la planta de emergencia pueda respaldar mientras exista el corte, de esta forma el UPS tendrá siempre la alimentación eléctrica para la recarga del banco de baterías.

Para ahondar un poco más acerca del sistema de energía regulada, en este capítulo describiré cómo funcionan los equipos UPS y su importancia dentro de los equipos de la subestación, los equipos de la planta de emergencia y del tablero de transferencia, se tratará en el capítulo 5.

3.1 SISTEMA DE ENERGÍA INTERRUMPIBLE (UPS)

El desarrollo tecnológico que la electrónica ha tenido en los últimos años, permite disponer en la actualidad de equipos de suministro de energía eléctrica en base a componentes de estado sólido (transistores, circuitos integrados, tiristores de potencia, etc.). Estos elementos ya tienen aplicación en sistemas de emergencia y en muchos casos como suministro de energía continua.

La utilización del sistema de energía regulada, se ha generalizado para el uso en sistemas de cómputo, comunicaciones, funciones de control que sean críticas y apoyo en sistemas de soporte de la vida en hospitales.

3.1.1 Descripción básica de los componentes de un UPS

La figura 3.1 muestra la configuración básica de un sistema de energía ininterrumpible (UPS).

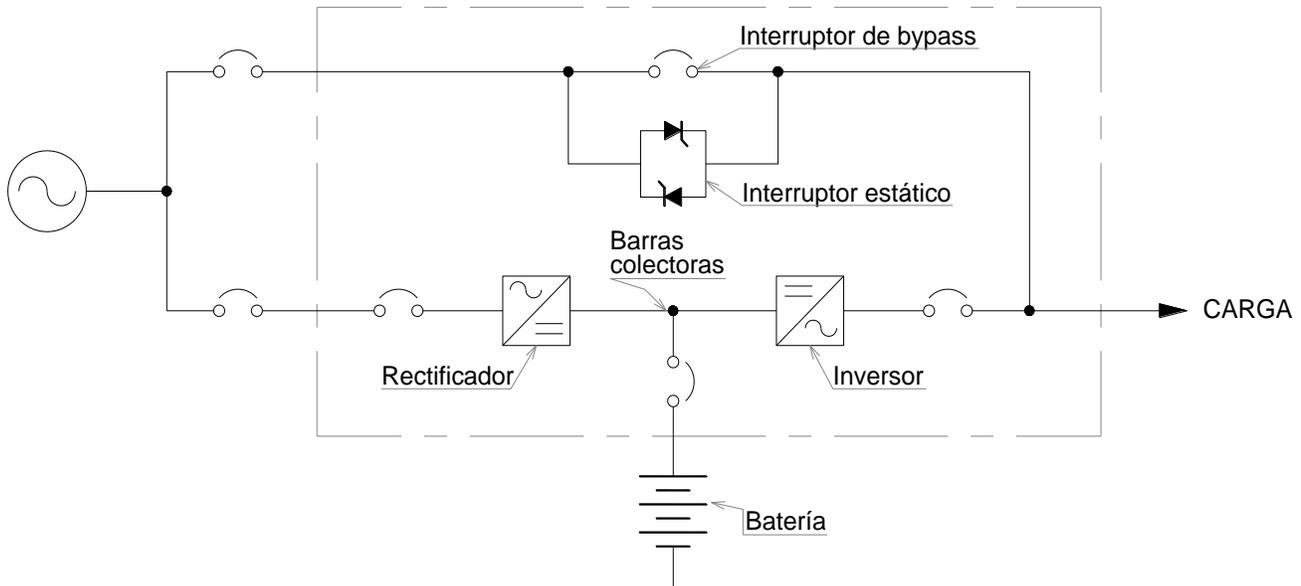


Fig. 3.1 - Configuración básica de un Sistema de Energía Ininterrumpible (UPS)

Estos componentes consisten básicamente de:

- a) **El rectificador:** Convierte el voltaje de corriente alterna proveniente de la línea en voltaje de corriente directa para mantener la alimentación de plena carga del inversor y la corriente de flotación de la batería.
- b) **Barras colectoras de corriente directa:** Interconectan de las terminales de suministro de corriente directa del rectificador a la batería, así como la alimentación del inversor.
- c) **Inversor:** Convierte la energía de corriente directa proveniente del rectificador o de la batería en energía de corriente alterna mediante el empleo de puentes inversores electrónicos a base de tiristores de potencia y filtros capacitivo-inductivos.

- d) **Batería:** Proporciona energía de corriente directa al inversor durante los tiempos de falla del suministro principal de la línea de alimentación, o bien, si fuera el caso, durante las fallas que se presenten en el rectificador.
- e) **Interruptor estático:** Bajo condiciones de falla en el suministro eléctrico, transfiere la energía de corriente alterna a la línea de alimentación con la que está permanente sincronizada. El tiempo que emplea es prácticamente instantáneo (5 a 10 mseg.), con lo cual no se ve afectada la operación del equipo crítico de la carga.
- f) **Interruptor de “bypass”:** Cierra en forma automática después de que la carga crítica ha sido transferida del sistema no interrumpible a la línea por el interruptor estático, sustituyendo a éste último de manera permanente.

3.2 FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO UPS

3.2.1 En operación normal

Durante la operación del equipo de energía ininterrumpible o UPS, la corriente alterna proveniente de la línea alimenta el rectificador para convertirla en corriente directa, ésta es aplicada al inversor electrónico el cual mediante el empleo de tiristores y filtros capacitivo-inductivos; convierte la energía de corriente directa en energía de corriente alterna que es proporcionada a la carga crítica.

Una pequeña parte de la energía es utilizada para mantener en flotación la batería, bajo esta condición de operación el equipo de energía ininterrumpible interactúa como un excelente regulador de energía de corriente alterna, amortiguando considerablemente las sobretensiones producidas en la línea de suministro por las maniobras de apertura y cierre de interruptores (“switches”); así como transitorio de rayos en líneas de alta tensión que puedan afectar el voltaje secundario de los transformadores de alimentación principal.

En la **figura 3.2** puede observarse el flujo de la energía eléctrica en un UPS en operación normal.

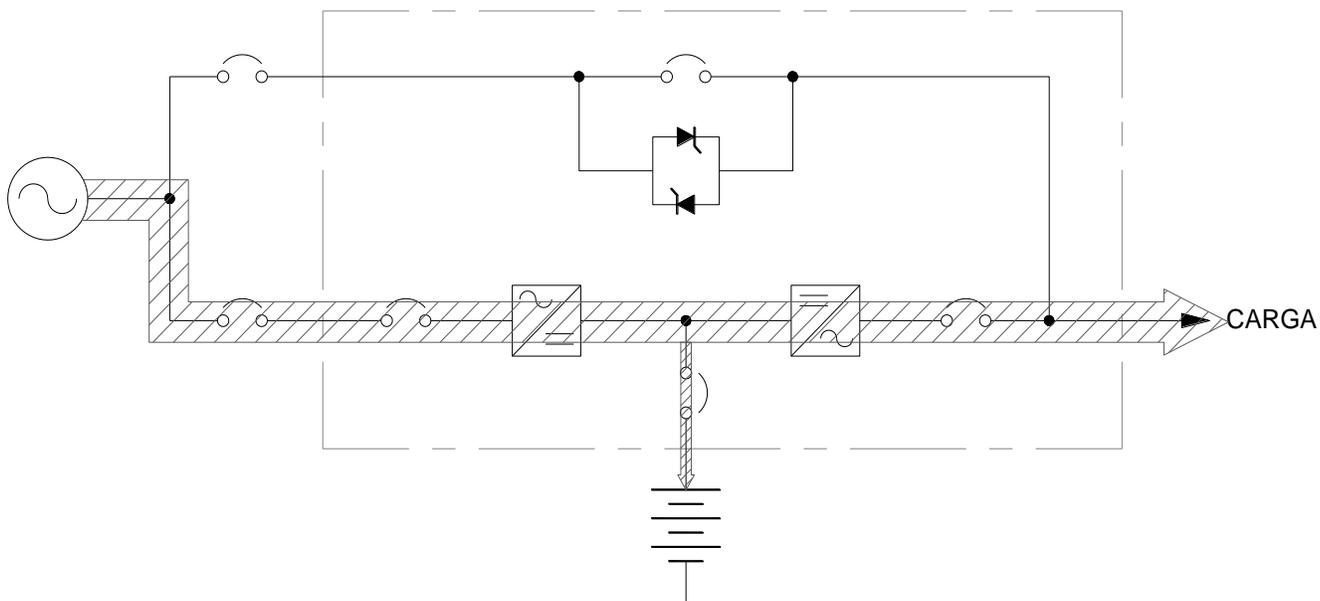


Fig. 3.2 - Equipo UPS en operación normal.

3.2.2 En operación con baterías

La figura 3.3 ilustra la condición de la falla de alimentación de C.A. en la línea. Cuando esto ocurre, el rectificador entra en una condición de apagado y por lo tanto se desconecta.

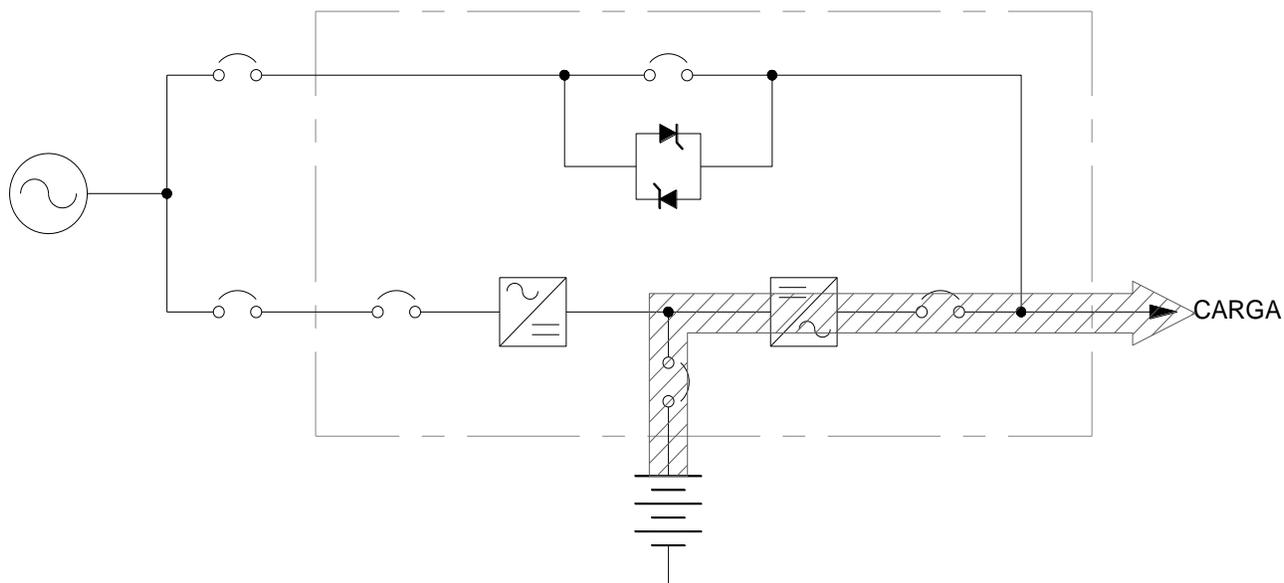


Fig. 3.3 - Equipo UPS en operación con baterías

La batería proporciona entonces la energía que requiere el inversor para seguir alimentando la carga crítica, quedando el control de frecuencia a cargo de un oscilador local a base de cristal, perdiéndose así la función de sincronismo con la línea en virtud de no tener potencial en la alimentación.

Cabe mencionar que en ningún momento se pierde el flujo de energía hacia la carga debido a que la batería está permanente conectada a las barras colectoras de corriente directa.

El tiempo de alimentación de energía que regularmente se prevé para la batería, es del orden de 15 minutos, aunque si se requiere, puede hacerse el diseño para que soporte tiempos mayores; pero esto implica por su puesto mayor costo.

Existen alarmas de bajo voltaje cuando la energía de la batería está siendo cedida a la carga y de continuarse la demanda, entonces se efectúa un disparo automático del sistema, por esta razón, entre otras cosas, es necesario estimar el tiempo requerido para salvaguardar los sistemas de la carga crítica conectada al equipo de energía ininterrumpible.

3.2.3 Operación con recarga de baterías

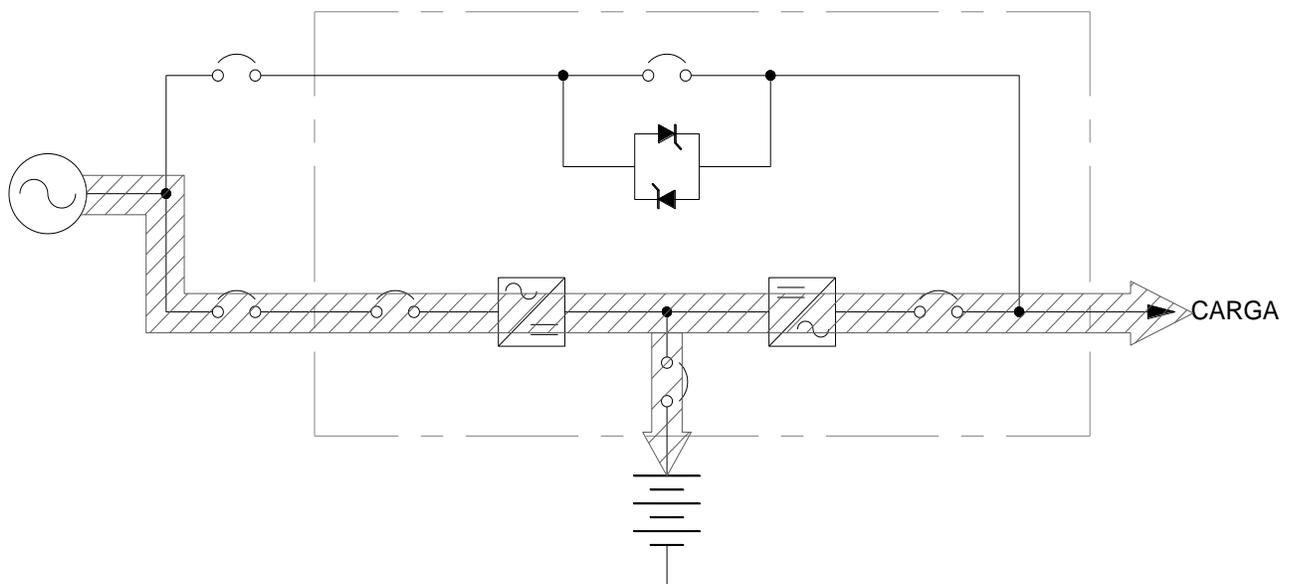


Fig. 3.4 - UPS en operación con recarga de baterías.

Si antes de que se presente el disparo del sistema por bajo voltaje en la batería se restituye la alimentación de C.A.; el rectificador se conecta automáticamente y proporciona una corriente para mantener la operación del inversor y otra para restituir la energía cedida por la batería durante el tiempo que duró la falla en la línea. El rectificador es diseñado para soportar la corriente total que demandan el inversor y la batería. (Ver la figura 3.4).

3.2.4 Operación de transferencia a la línea

El equipo de energía ininterrumpible puede ser transferido a la fuente de alimentación cuando ocurre una sobrecarga del inversor o bien cuando exista una falla en el mismo. Bajo cualquiera de estas dos condiciones se genera una señal de comando sobre el interruptor de salida del inversor, sobre el interruptor estático y sobre el interruptor de “bypass”.

Estos tres elementos tienen tiempos de operación diferentes y ocurren en tres diferentes pasos, como se ilustran en la figura 3.5, A, B y C.

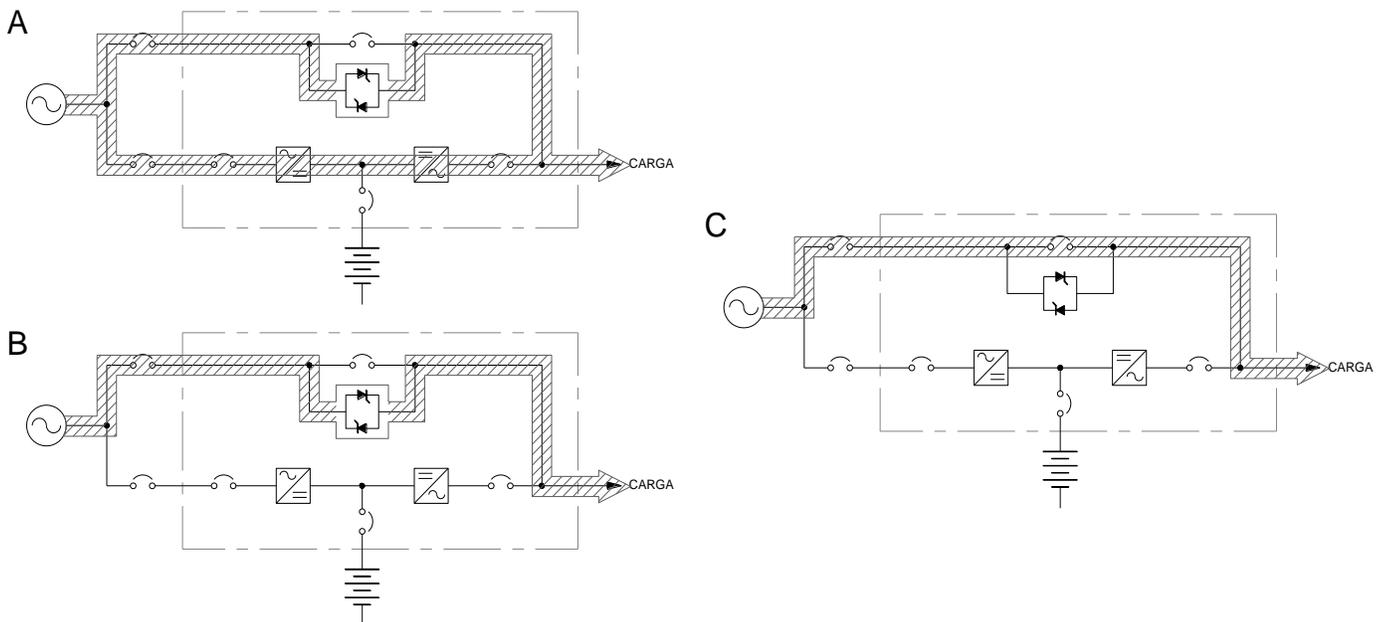


Fig. 3.5 - Operación de transferencia a la línea.

El más rápido de estos elementos es el interruptor estático que consiste en tres interruptores de estado sólido (tiristores), uno por cada fase. La conducción se inicia aproximadamente $\frac{1}{4}$ de ciclo después de haber recibido la señal de disparo en las compuertas de los tiristores, quedando así conectada la carga, tanto al equipo de energía ininterrumpible como a la línea.

Aproximadamente 2 ó 3 ciclos después se abre el interruptor de salida del inversor y la carga es ahora soportada por la línea a través del interruptor estático.

El paso final de la secuencia de transferencia se efectúa aproximadamente entre los 8 y 10 ciclos, cuando el interruptor de "bypass" cierra y "puentea" la corriente que circulaba a través del interruptor estático.

La secuencia descrita anteriormente es comúnmente conocida como "make-before-break", cuya interpretación en este caso sería la de "conectar-antes de desconectar", refiriéndonos a conectar la línea antes de desconectar el equipo de energía ininterrumpible, haciéndose la transferencia sin ocasionar trastornos a la carga crítica.

3.2.5 Transferencia de la línea al UPS

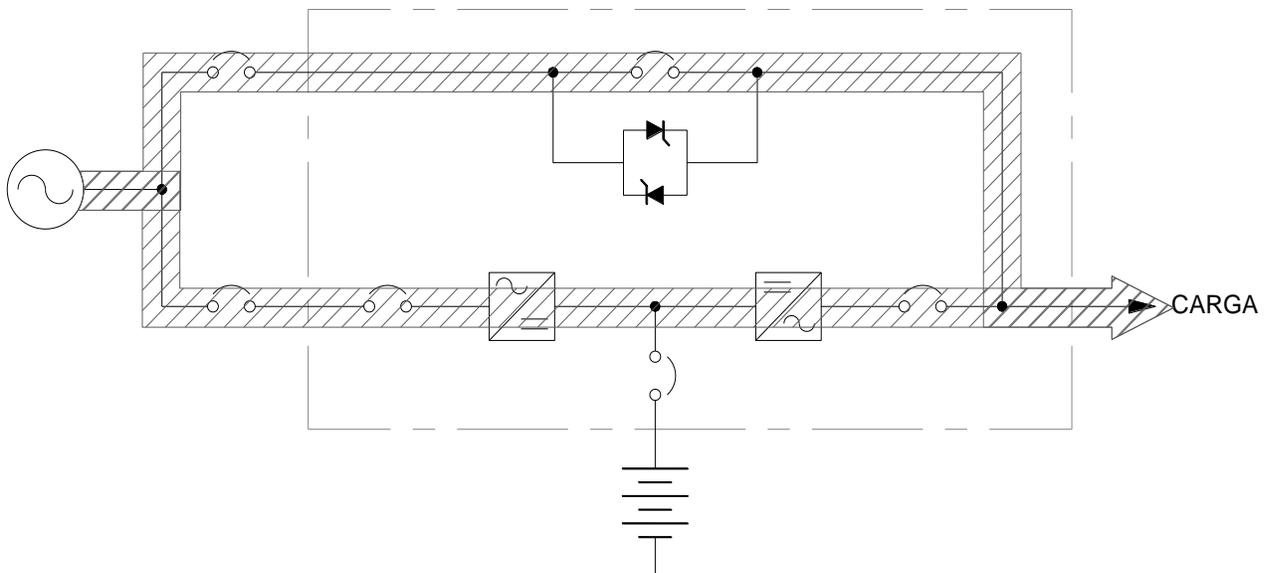


Fig. 3.6 - Transferencia de la línea al UPS

Para transferir la carga de la línea de alimentación al equipo de energía ininterrumpible, (ver la figura 3.6), se cierra el interruptor de salida del inversor quedando así conectada la carga a través del interruptor del “bypass” en paralelo. Cuando el equipo de energía ininterrumpible soporta la mayor parte de la carga se abre el interruptor de “bypass” separándose así la línea.

El tiempo que dura esta transferencia es de aproximadamente $\frac{1}{2}$ segundo y aquí también se establece una vez más el modo de operación “make-before-break”.

3.3 CONFIGURACIONES TÍPICAS DE EQUIPOS UPS

Existen diferentes y variadas configuraciones de equipos no interrumpibles, los que a continuación se explican son algunos de los más usuales. Es importante mencionar que la aplicación de ellos dependerá fundamentalmente de las condiciones técnico-económicas que en cada caso prevalezcan.

3.3.1 Sistema no redundante

La configuración básica consiste en un solo rectificador, una batería y un inversor operando continuamente en la línea de alimentación de C.A. Se fabrican en potencias que van desde los 250 VA hasta 500 KVA (ver la figura 3.7).

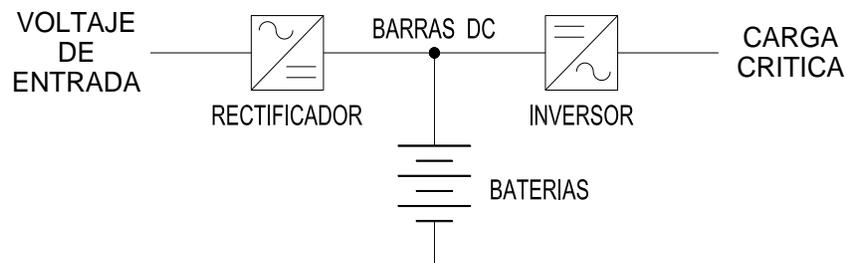


Fig. 3.7 - Configuración sistema no redundante

El sistema rectifica la C.A. y se alimenta al inversor manteniendo en flotación la batería. No se cuenta con opción de transferencia de ningún tipo y sólo depende

del tiempo que duren las baterías para alimentar la carga crítica durante fallas de la línea. En caso de ser breves las fallas (generalmente menor a 15 min.) el rectificador restituye la carga de las baterías.

El sistema proporciona además:

- 1) Energía eléctrica ininterrumpible
- 2) Bajo mantenimiento debido a no existir partes en movimiento
- 3) Buena eficiencia en la conversión de energía mediante el empleo de componentes de estado sólido

La disponibilidad del equipo del sistema para el servicio normal es generalmente alta y puede ser calculada mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{TPF}{TPF + TPR}$$

Donde:

A= Disponibilidad del equipo

TPF= Tiempo promedio entre fallas (horas días)

TPR= Tiempo promedio de reparación (horas días)

El sistema tienen la ventaja de ser muy simple y de bajo costo y como desventaja; el quedar totalmente fuera cuando su inversor falla. Su selección dependerá fundamentalmente del aspecto económico y del tiempo permitido para permanecer con la carga crítica fuera de servicio en caso de falla.

Este último inconveniente se supera si se incluye un interruptor estático para efectuar la transferencia de carga a la línea. La inclusión del interruptor estático incrementa el costo aproximadamente de un 10% respecto al sistema no redundante.

3.3.2 Configuración de Sistemas Redundantes

A.- Configuración Redundante Aislada

La configuración redundante aislada posee un módulo de UPS independiente llamado principal y otro módulo de UPS independiente también como reserva, (ver fig. 3.8). El módulo principal suministra energía para el bus que alimenta la carga crítica.

El módulo de reserva es configurado para alimentar y suministrar energía al área de bypass del módulo principal, de modo que si el módulo principal falla la carga será transferida automáticamente para el módulo de reserva.

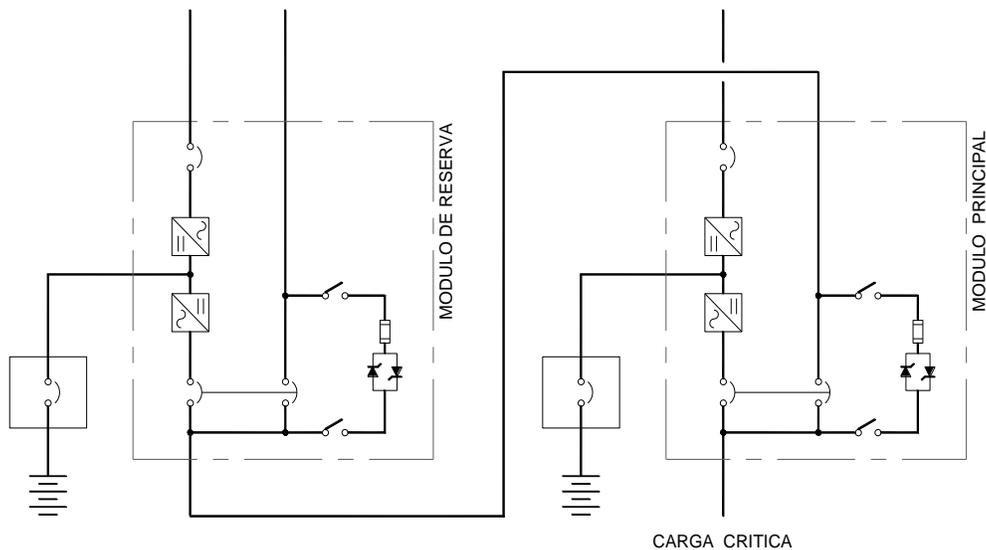


Fig. 3.8 - Configuración Redundante Aislada

B.- Configuración Redundante Paralela

La figura 3.9 muestra un sistema con dos unidades de energía ininterrumpible operando en paralelo redundante. Cada una de las unidades deberá ser seleccionada a la capacidad total de carga crítica con el fin de que en caso de falla de uno de ellos, otro pueda sustituirlo sin afectación al equipo conectado en la salida del sistema.

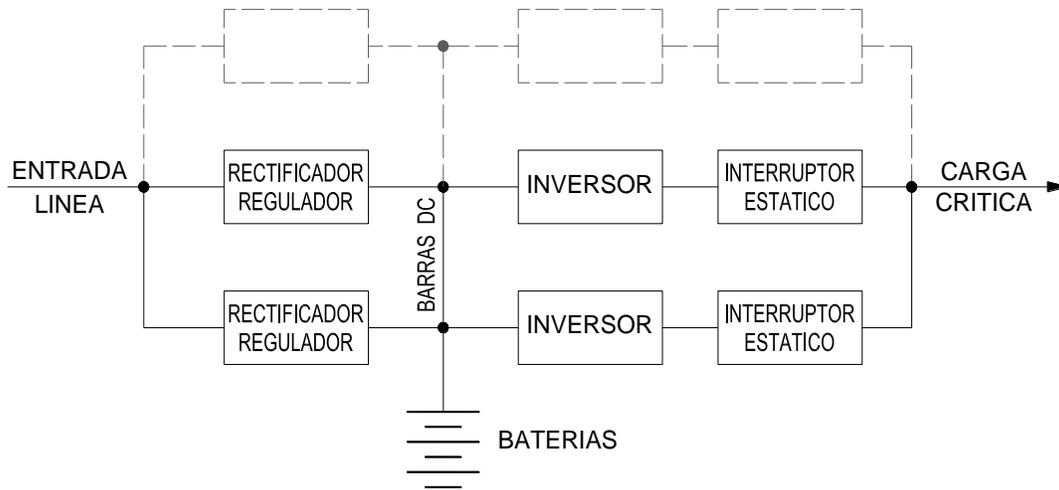


Fig. 3.9 - Configuración Redundante Paralela

Es posible agregar más unidades, pero siempre conservando el criterio de que cuando falle uno de ellos el resto pueda tomar la carga total. Usualmente se duplican los circuitos del rectificador, inversor, control de frecuencia e interruptores de salida, no siendo necesario hacer lo mismo con las baterías; sin embargo, el arreglo permite tener una mayor disponibilidad del sistema y obviamente mejores condiciones de operación respecto al no redundante.

La redundancia del sistema consiste básicamente en tener el menor número de equipos en paralelo para soportar los requerimientos de la carga crítica más uno adicional para tener la redundancia. Un número grande de equipos en paralelo no necesariamente incrementa la disponibilidad del sistema debido a que se tiene un mayor número de componentes sujetas a falla.

El costo de un sistema redundante es aproximadamente:

$$S = \frac{N + 1}{N}$$

Como puede apreciarse es mayor que en un sistema no redundante, donde N es igual al número de equipos correspondientes al sistema no redundante.

C.- Sistema Paralelo-Redundante de Carga Compartida

La figura 3.10, muestra un sistema paralelo redundante de equipos de energía ininterrumpible.

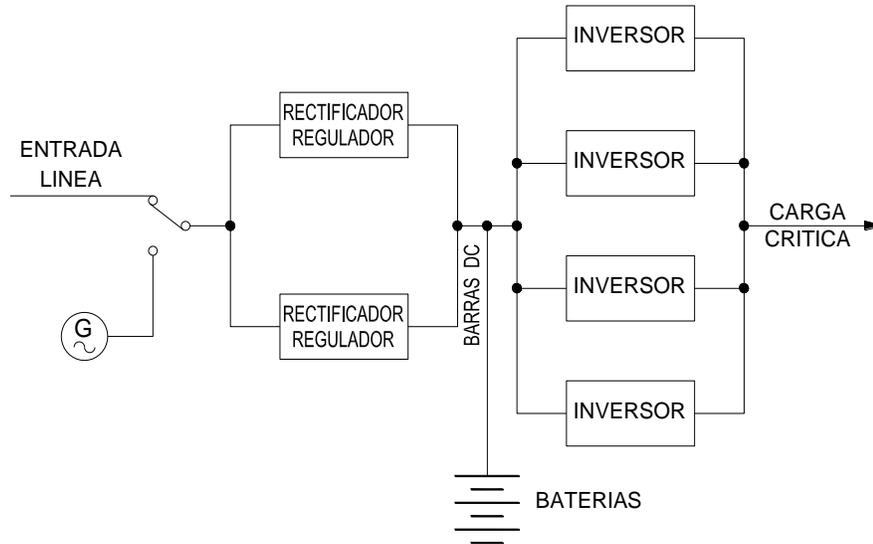


Fig. 3.10 - Configuración Redundante Paralela de Carga Compartida

La confiabilidad del arreglo mostrado es verdaderamente monstruosa y generalmente se utiliza para sistemas con una gran demanda de energía en la carga, misma que no puede ser suspendida durante las 24 horas, como ejemplo podría citarse el Sistema Bancario que requiere atención continua al público, como es el caso de los llamados cajeros automáticos que operan inclusive los sábados y domingos.

La característica de carga compartida se aplica tanto a la alimentación de la línea, como a la planta de emergencia de combustión interna y a los rectificadores e inversores de los equipos de energía ininterrumpible.

Es muy recomendable cuando el arreglo con interruptor estático de transferencia a la línea no puede aplicarse, debido a que los parámetros de frecuencia y voltaje en la línea son inestables.

3.4 ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO DE ENERGÍA ININTERRUMPIBLE

En el edificio del USPC, como en muchos otros edificios, se requiere de un sistema de energía ininterrumpible, debido a que la carga crítica es principalmente equipo de cómputo.

La carga total de los contactos regulados para el proyecto del edificio del USPC, es de aproximadamente 70KW de forma trifásica, y se propuso inicialmente una reserva de 30KW para cargas futuras, por lo que se estaba requiriendo un equipo UPS adecuado para soportar una carga total de 100KW.

Con un sistema que soporte el 100% de la carga por lo menos 10min, hay tiempo suficiente para que en caso de falla del suministro, se realice la transferencia de la línea a la planta de emergencia, del total de la carga, y de esta forma la carga de las baterías siempre estará garantizada.

Con este sistema se garantiza el suministro para los contactos de energía regulada. Y de ningún modo, la carga crítica estará respaldada sólo por 15 minutos, ya que el sistema de energía ininterrumpible cuenta con el respaldo de la planta de emergencia, la cual respalda la totalidad de la carga del edificio que incluye la carga del sistema regulado.

La siguiente descripción corresponde a la del equipo UPS del cual se solicitó la cotización para el edificio del USPC:

3.4.1 Npower Single Module System

El cual consiste de lo siguiente:

One (1) 100kVA / 80kW Liebert Npower UPS 3-fasico,
modelo 37SA100A0C6EA21, con las siguientes características:

Voltaje de entrada CA 208 V or 480 V = 10% (three-phase, three-wire plus ground)

Voltaje de salida CA 208V (three-phase, four-wire plus ground)

- Entrada Single, en-línea real, conversión doble
- Configuración de transferencia inversa
- Cargador/rectificador controlado por fases

- Inversor IGBT (tecnología de transistores bipolares de acceso aislado) con modulación de la duración del impulso (PWM)
- Conmutador de transferencia estático y automático de servicio continuo
- Conmutador interno de derivación (bypass) de mantenimiento
- Controles DSP (Procesamiento de señal digital)
- Panel de control y monitoreo basado en microprocesador, con esquema sinóptico del bus
- Pantalla gráfica LCD con base de datos de las alarmas registradas
- Comprobación programable de carga de las baterías para mayor seguridad
- Aislamiento carga neutro
- Filtro de entrada con 10% de DAT a plena carga de salida
- EPO (parada de emergencia) local con provisión para EPO remota.
- Puerto de interfaz RS 232
- Rueditas (o ruedecitas) y patas de nivelación
- CSA, UL 1778

3.4.2. Paquete de Baterías

One (1) Paquete de baterías de alimentación de Liebert para 10 minutos de autonomía con una carga de 80kW, Modelo/s 37BP100XPR1BNL, con las siguientes características:

Armario para baterías, se entrega por separado e incluye los cables de interconexión que se empernan en el lado izquierdo del módulo UPS.

- Disyuntor del circuito de la batería para aislarla durante el mantenimiento
- Celdas de baterías de plomo-ácido reguladas por válvulas en cajas piroretardantes.

3.5 PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA ININTERRUMPIBLE

3.5.1 Protección de baterías

Las baterías aportan la confiabilidad inherente en un UPS y la protección deberá ser de primordial importancia. Algunas importantes áreas son sobrecarga, régimen de descarga y sus límites, temperatura ambiente y detección de tierras.

Las sobrecargas causan gasificación y degradación de las baterías ácidas. Los gases pueden también ocasionar corrosión de las terminales. Una operación sostenida a altas temperaturas causa corrosión interna de las rejillas y de las placas de las baterías. Una alarma y disparo por bajo voltaje, puede prevenir la descarga innecesaria de las baterías y el daño consecuente.

Prolongadas corrientes de sobrecarga pueden causar gasificación en las celdas ventiladas y calentamiento en las cerradas. En algunas celdas se protege contra sobrecargas mediante desviaciones de las corrientes de carga.

El incremento de la temperatura ambiente afecta directamente algunas baterías ácidas mediante el incremento del consumo de agua corrosión en las rejillas, y producción a temperaturas mayores que las recomendadas acorta la vida de las baterías.

3.5.2 Protección del cargador de baterías

Diversos dispositivos de protección para cargadores de baterías incluyen limitadores de corriente de salida, supresores de sobretensiones, fusibles e interruptores.

Un limitador de corriente de salida proporciona una protección contra sobrecarga del cargador; un límite típico puede estar 125% del régimen de carga y para cortos periodos de tiempo la batería puede suministrar mayor carga si ésta es requerida.

Algunos dispositivos limitadores de corriente proporcionan una interrupción automática del cargador cuando existen corrientes de corto-circuito. Los supresores de sobretensiones pueden estar provistos por el fabricante en la

entrada y salida del cargador para protegerse contra transitorios en la línea. Interruptores de entrada y salida agregan protección contra sobrecarga así como proporcionan flexibilidad.

Dispositivos opcionales para cargadores de baterías incluir – voltmetro detector de tierras o luces detectoras de tierras, desconexión o alarma por falla en el suministro y reveladores de sobre y bajo voltaje de C.D.

Un revelador de C.A. para falla en el suministro protege la batería contra descargas innecesarias a través del cargador.

3.5.3 Protección del Inversor

Los inversores son comúnmente protegidos a la entrada y a la salida con interruptores o fusibles, las prolongadas condiciones de corto circuito, switcheos fuera de fase y conexiones equivocadas de polaridad en forma accidental son ejemplos de condiciones que se protegen mediante interruptores y fusibles.

Los limitadores de corriente en circuitos de salida, como son cargadores de baterías, son proporcionados por la mayoría de fabricantes.

Los inversores pueden estar diseñados para suministrar alguna capacidad de sobrecarga extra. Valores típicos de capacidad de sobrecarga pueden ser 125% para 10 minutos y 150% para 10 segundos. Sensores de bajo voltaje pueden estar previstos para desconectar para desconectar el inversor si el voltaje de la batería cae debajo de un valor determinado.

Un aspecto importante para la adecuación de la aplicación de inversores es una ventilación adecuada, bajo condiciones de operación normal, los inversores pueden desprender una considerable cantidad de calor. Se deberá tener cuidado no sólo de proveer la adecuada ventilación, sino también de prevenir bloqueos de esta ventilación.

3.5.4 Protección de Interruptor de transferencia estático

La corriente de corto circuito disponible es especialmente crítica en la aplicación de los interruptores de transferencia estáticos, por lo que se debe coordinar apropiadamente el tiempo en que el fusible libera la falla y la capacidad del interruptor estático para minimizar los efectos sobre este último.

Los interruptores termomagnéticos son considerados como lentos comparados con los fusibles cuando se trata de proteger los equipos estáticos, razón por la cual siempre se utilizarán fusibles.

Como en todos los equipos de estado sólido deberá considerarse también una protección de transitorios de voltaje a fin de que no afecten los tiristores del interruptor estático.

3.6 CIRCUITOS DERIVADOS DEL SISTEMA REGULADO

En el proyecto eléctrico del edificio del USPC, al igual que en el sistema de contactos normales, el sistema regulado se distribuye en todo el edificio a través de receptáculos o contactos, con algunas diferencias en su funcionamiento, estos contactos se distinguen de los contactos normales principalmente porque:

- Los receptáculos son color naranja.
- Tienen una conexión adicional para la conexión de tierra física aislada, además de la conexión de la tierra física.
- Su voltaje siempre es constante y regulado (120 Vca), es decir provee energía continua regulada y acondicionada a la carga crítica, dándole a ésta la tensión sin variaciones en voltaje ni en frecuencia.

En la figura 3.11 se muestran los dos tipos de contactos a utilizar en el proyecto eléctrico del USPC, para contactos normales se usará el color marfil, figura (a), y para el sistema regulado los de color naranja, figura (b); aparentemente son muy parecidos, incluso el color podría ser igual; sin embargo lo que realmente los hace diferentes es la conexión adicional para el conductor de tierra aislada que tienen los receptáculos para el sistema regulado, figura (b).

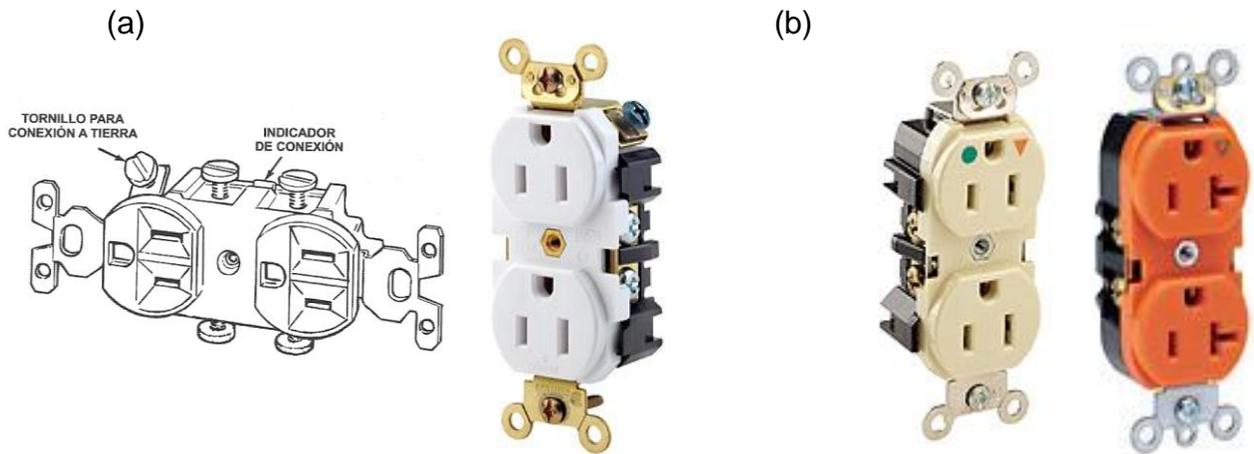


Fig. 3.11 - Receptáculos para el sistema normal y el sistema regulado

Los cálculos de los circuitos derivados del sistema regulado para el edificio del USPC, son idénticos a los realizados en el capítulo II, por tal motivo no se realizarán los cálculos correspondientes en esta sección, sin embargo los cálculos de los circuitos derivados del sistema regulado están reflejados en los cuadros de carga de la figura 3.13.

Cabe hacer mención que para estos cálculos se tomaron en cuenta 2 diferencias esenciales:

Primero el voltaje de alimentación para cada circuito derivado del sistema regulado es de 120 Vca y no de 127 Vca como en los circuitos derivados de los contactos normales.

Segundo se agrega el conductor para la conexión de la tierra física aislada, el cual será del mismo calibre que el conductor desnudo para la tierra física. En la cedula de cableado por lo tanto, se incrementa el conductor aislado para la tierra física aislada.

Recordemos que el conductor para tierra física, se selecciona de la tabla **250-95** "Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos" de la **NOM-001-SEDE-2005**, de acuerdo a la capacidad

o ajuste del **dispositivo automático de protección** contra sobrecorriente o interruptor termomagnético del circuito derivado en cuestión.

El sistema regulado está configurado de manera independiente del sistema normal, cuenta con su propio sistema de tierras de forma aislada, y se entrelaza con el sistema de tierras normal y con el sistema de tierras del edificio, pero sobre este tema se hablará en el capítulo IV.

La alimentación de los contactos del sistema regulado está siendo proporcionada desde el tablero regulado general de distribución tipo I-Line que se encuentra ubicado en la subestación eléctrica, el cual tiene su fuente de alimentación directamente del UPS; distribuyendo la energía en cada nivel del edificio.

El Tablero General de distribución tipo I-line del sistema regulado proporciona la energía a los tableros de alumbrado y distribución en cada nivel del edificio UPSC y sólo da servicio a contactos regulados.



Fig. 3.12 Distribución de circuitos derivados del sistema regulado.

En la figura 3.12 se muestra la forma en que se distribuyen los circuitos derivados de contactos regulados en zona de oficinas del edificio del USPC, puede apreciarse en la asignación de cada circuito el nombre del tablero al que pertenecen, así como el número del circuito.

La cédula de cableado que se muestra al centro del dibujo indica la cantidad de conductores, los calibres y el tipo de aislamiento, así como el diámetro de la tubería asignada. La cédula está indicada en la distribución de los contactos al centro de la canalización que hay entre cada contacto.

El resto de los circuitos derivados del sistema regulado, se pueden observar en los planos del proyecto eléctrico que se encuentran en el capítulo VI. y están reflejados en los cuadros de carga de la figura 3.13 que se muestran a continuación.

3.7 CUADROS DE CARGA DEL SISTEMA REGULADO

TABLERO "R1"

TABLERO "R1" DE ALUMBRADO Y DISTRIBUCION, 3 FASES, 4 HILOS, 600 VCA, 60 Hz, NEMA-1, DE SOBREPONER, 30 ESPACIOS, CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO PRINCIPAL DE 3P-225, CAT. N00D30-4AB22S, MCA. SQUARE'D												DESBALANCEO MAXIMO ENTRE FASES: 2.63 %			PROYECTO: UPC SERVICIO REGULADO			CTOS.
CTOS.	180 W	5,040 W	9,180 W	WATTS TOTALES	FASES	VOLTAJE (Volts)	In (Amp.)	L (m)	Caída e %	ALIM (AWG)	INT. TERM.	F A S E S			ESPACIO EN EL TABLERO			
												A	B	C	A	B	C	
R1-1	8			1,440	1	120	13.33	14	1.18	10	1P-20	1,440			1			R1-1
R1-2	9			1,620	1	120	15.00	25	2.38	10	1P-20		1,620			3		R1-2
R1-3	8			1,440	1	120	13.33	35	2.96	10	1P-20			1,440			5	R1-3
R1-4	8			1,440	1	120	13.33	34	2.87	10	1P-20			1,440			6	R1-4
R1-5	6			1,080	1	120	10.00	29	1.84	10	1P-20	1,080			2			R1-5
R1-6	7			1,260	1	120	11.67	22	1.63	10	1P-20		1,260			4		R1-6
R1-7	6			1,080	1	120	10.00	27	1.71	10	1P-20	1,080			7			R1-7
R1-8	8			1,440	1	120	13.33	28	2.37	10	1P-20		1,440			9		R1-8
R1-9	8			1,440	1	120	13.33	35	2.96	10	1P-20			1,440			11	R1-9
R1-10	6			1,080	1	120	10.00	46	2.92	10	1P-20	1,080			8			R1-10
R1-11	6			1,080	1	120	10.00	39	2.47	10	1P-20		1,080			10		R1-11
R1-12	7			1,260	1	120	11.67	26	1.92	10	1P-20			1,260			12	R1-12
R1-13		1		5,040	3	208	15.54	52	1.61	8	3P-50	1,800	1,800	1,440	13	15	17	R1-13
R1-14			1	9,180	3	208	28.31	35	1.97	8	3P-50	3,600	2,880	2,700	14	16	18	R1-14
TOTAL:	87	1	1	29,880	3	208	92.15	42	1.21	1/0	3P-150	10,080	10,080	9,720				

TABLERO "R2"

TABLERO "R2" DE ALUMBRADO Y DISTRIBUCION, 3 FASES, 4 HILOS, 600 VCA, 60 Hz, NEMA-1, DE SOBREPONER, 30 ESPACIOS, CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO PRINCIPAL DE 3P-225, CAT. N00D30-4AB22S, MCA. SQUARE'D												DESBALANCEO MAXIMO ENTRE FASES: 2.63 %			PROYECTO: UPC SERVICIO REGULADO			CTOS.
CTOS.	180 W	9,180 W	WATTS TOTALES	FASES	VOLTAJE (Volts)	In (Amp.)	L (m)	Caída e %	ALIM (AWG)	INT. TERM.	F A S E S			ESPACIO EN EL TABLERO				
											A	B	C	A	B	C		
R1-1	10		1,800	1	120	16.67	28	2.96	10	1P-20	1,800			1			R1-1	
R1-2	6		1,080	1	120	10.00	32	2.03	10	1P-20		1,080			3		R1-2	
R1-3	6		1,080	1	120	10.00	28	1.77	10	1P-20			1,080			5	R1-3	
R1-4	9		1,620	1	120	15.00	19	1.81	10	1P-20			1,620			6	R1-4	
R1-5	9		1,620	1	120	15.00	17	1.62	10	1P-20		1,620			4		R1-5	
R1-6	8		1,440	1	120	13.33	11	0.93	10	1P-20			1,440			11	R1-6	
R1-7	7		1,260	1	120	11.67	22	1.63	10	1P-20	1,260			2			R1-7	
R1-8	7		1,260	1	120	11.67	23	1.70	10	1P-20		1,260			9		R1-8	
R1-9	6		1,080	1	120	10.00	19	1.20	10	1P-20	1,080			7			R1-9	
R1-10	7		1,260	1	120	11.67	18	1.33	10	1P-20		1,260			8		R1-10	
R1-11	10		1,800	1	120	16.67	28	2.96	10	1P-20		1,800			10		R1-11	
R1-12	10		1,800	1	120	16.67	27	2.85	10	1P-20			1,800			12	R1-12	
R1-13	8		1,440	1	120	13.33	32	2.70	10	1P-20	1,440			13			R1-13	
R1-14	8		1,440	1	120	13.33	15	1.27	10	1P-20		1,440			15		R1-14	
R1-15	8		1,440	1	120	13.33	16	1.35	10	1P-20			1,440			17	R1-15	
R1-16	6		1,080	1	120	10.00	17	1.08	10	1P-20	1,080			14			R1-16	
R1-17	6		1,080	1	120	10.00	18	1.14	10	1P-20		1,080			16		R1-17	
R1-18	9		1,620	1	120	15.00	30	2.85	10	1P-20			1,620			18	R1-18	
R1-19	6		1,080	1	120	10.00	42	2.66	10	1P-20	1,080			19			R1-19	
R1-20	6		1,080	1	120	10.00	32	2.03	10	1P-20		1,080			21		R1-20	
R1-21	6		1,080	1	120	10.00	33	2.09	10	1P-20			1,080			22	R1-21	
R1-22	7		1,260	1	120	11.67	27	2.00	10	1P-20	1,260			20			R1-22	
R1-23	7		1,260	1	120	11.67	28	2.07	10	1P-20			1,260			23	R1-23	
R1-24		1	9,180	3	208	28.31	40	0.56	2	3P-100	3,060	3,060	3,060	25	27	29	R1-24	
TOTAL:	172	1	40,140	3	208	123.80	48	1.85	4/0	3P-225	13,320	13,500	13,320					

RESUMEN DE CARGAS SISTEMA REGULADO
TAB."REG2." I-LINE "LA400M102PA"

EQUIPO	UBICACION	SERVICIO	WATTS TOTALES	FASES	VOLTAJE (Volts)	In (Amp.)	L (m)	Caída e %	ALIM (AWG)	SECC	INT. TERM.	F A S E S			
												A	B	C	
TABLERO "R1"	1er NIVEL	REGULADO	29,880	3	208	92.15	42	1.21	1/0	53.48	3P-150	10,080	10,080	9,720	
TABLERO "R2"	2o NIVEL	REGULADO	40,140	3	208	123.80	48	0.92	4/0	107.2	3P-225	13,320	13,000	13,320	
CARGA TOTAL:			70,020	3	208	215.95	11	0.16	2-250	253.4	3P-400	23,400	23,580	23,040	
													WATTS TOTALES:		70,020.00
													DESBALANCEO MAXIMO:		2.29%

Fig. 3.13 Cuadros de carga del sistema regulado

CAPÍTULO IV

“SISTEMA DE TIERRAS”

La conexión a tierra de los diferentes ¹⁹sistemas eléctricos y equipo, se hace por razones de seguridad, en el caso de un cortocircuito entre cualquier conductor energizado y cualquier otra parte metálica. Un corto circuito puede producir una cantidad excesiva de arco en el punto de falla, llegando a producir fuego con el daño subsecuente.

Mediante el uso de equipos especiales las ondas inducidas por descargas atmosféricas se pueden descargar a tierra para prevenir sobrevoltajes peligrosos en algunos equipos o en carcazas o cubiertas de los equipos, que pueden poner en peligro la vida.

La conexión a tierra se logra uniendo mediante un conductor, (apropiado a la corriente de corto circuito del sistema que se trate), todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse con el planeta Tierra. Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades y, para que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos.

4.1 LA RAZÓN DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS

En cualquier instalación eléctrica, el uso de diferentes sistemas de tierras se ha convertido en parte esencial del diseño de proyectos, el propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

Existen dos principales causas de electrocución:

¹⁹ Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 293

Por contacto directo: Es decir, cuando una persona toca directamente un elemento de un circuito bajo tensión.

Por contacto indirecto: Cuando una persona toca la carcasa de una máquina o de una masa metálica cualquiera, en forma accidental, con un conductor de fase bajo tensión.

El uso correcto de los sistemas de tierras ayuda a prevenir accidentes por electrocución, y por eso conviene distinguir entre la puesta a tierra del sistema de alimentación y la puesta a tierra del equipo:

La puesta a tierra del sistema de alimentación eléctrica consiste en unir intencionalmente al sistema de electrodos, uno de los conductores de la acometida o uno de los conductores que salen del secundario de un transformador (el neutro), a este conductor se le conoce como conductor de puesta a tierra.

La conexión a tierra del equipo se refiere a la conexión intencional de los gabinetes y carcasas del equipo y canalizaciones a tierra.

4.1.1 Necesidad del sistema de tierras²⁰

La Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEDE-2005, establece en el artículo 250, que se requiere en las instalaciones eléctricas de un sistema de tierras, con propósitos de seguridad. Específicamente en la sección 250-5 hace mención a todos los sistemas y circuitos de c.a. que deben ser puestos a tierra.

La clasificación de los sistemas eléctricos que la Norma establece en la sección 250-5 se basa en el voltaje de alimentación, para el caso que nos ocupa en este

²⁰ Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 295

informe es aplicable la sección correspondiente a los sistemas de corriente alterna que van de los 50Vca hasta los 1,000Vca.

Para los sistemas de corriente alterna de 50 V a 1 000 V ²¹ que suministren energía a instalaciones y a sistemas de alambrado de usuarios, deben estar puestos a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- a) Cuando el sistema puede ser puesto a tierra de modo que la tensión eléctrica máxima a tierra de los conductores no puestos a tierra no exceda 150 V.
- b) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en estrella el neutro se utilice como conductor del circuito.
- c) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en delta el punto medio del devanado de una fase se utilice como conductor del circuito.
- d) Cuando un conductor de acometida puesto a tierra no esté aislado.

Para mayor información con respecto a las excepciones que hace la Norma en relación a este punto, debemos referirnos directamente a la sección 250.5 en el inciso “b”, de la NOM-001-SEDE-2005.

4.1.2 La corriente eléctrica como causa de peligro²²

Los Valores de corriente que pueden ser mortales son: 50mA en corriente directa y 25mA en corriente alterna. La resistencia que opone el cuerpo humano al paso de la corriente eléctrica depende de varios factores, como son:

1. La tensión de contacto (V_c), que es el valor de tensión aplicada entre dos partes del cuerpo.
2. El estado de humedad de la piel, es decir, si se trata de la piel para una persona que esté seca o húmeda, o bien rugosa o lisa.
3. La naturaleza del contacto con el suelo, es decir, pies desnudos o con zapatos.

²¹ Secretaría de Energía / Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 / sección 250.5, inciso “b”

²² Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 296

En la figura 4.1, R_i representa la resistencia de distintas partes del cuerpo humano, Z_p es la impedancia de contacto entre la mano y el conductor energizado, que eléctricamente equivale a un circuito formado por un condensador y una resistencia en paralelo.

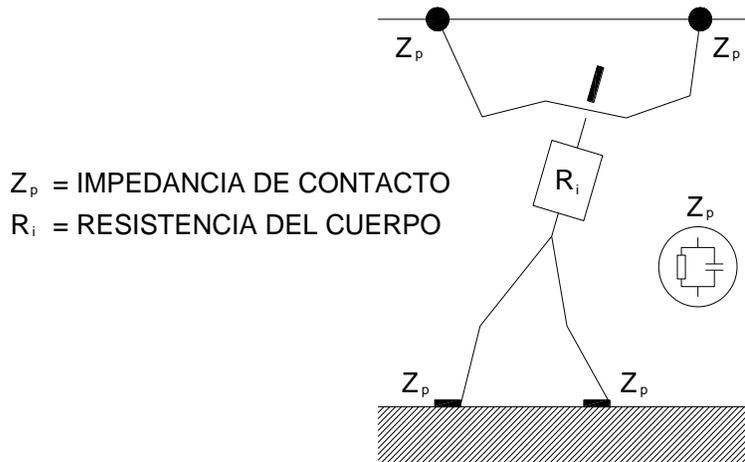


Fig. 4.1 Resistencia del cuerpo humano

De evaluaciones experimentales, la resistencia del cuerpo humano es de 1000Ω bajo las condiciones siguientes: piel húmeda, en estas condiciones para una corriente de 25mA (0.025A) en corriente alterna se puede tener peligro para un valor de:

$$I \times R_c = 0.025 \times 1000 = 25 \text{ volts.}$$

4.1.3 El efecto de la corriente eléctrica²³

La corriente eléctrica tiene una acción sobre las principales funciones vitales: respiración y circulación sanguínea, puede provocar también calambres mientras atraviesa al organismo. Los efectos sobre una persona adulta producen por tiempo indeterminado:

- De 0 a 0.5 mA Alguna sensación
- De 0.5 a 10 mA Sensación bastante perceptible
- De 10 a 30 mA. Contracción muscular

²³ Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 297

- De 30 a 75 mA. Sensación de parálisis respiratoria.
- De 75 mA a 1 A Fibrilación cardíaca irreversible, es decir, la frecuencia de la corriente ocasiona un desorden en el ritmo cardíaco.

Es conveniente también, hacer notar que la resistencia eléctrica del cuerpo humano, es muy variable (de algunos cientos hasta miles ohms); por lo que valores de tensión que aplicados al cuerpo humano se consideran peligrosos, se deben definir en forma conservadora.

Las instalaciones de puesta a tierra y una selección de protecciones adecuadas y coordinadas, constituyen el medio principal para limitar dicha tensión.

4.2 EL SISTEMA DE TIERRAS DE LA SUBESTACIÓN.

El objetivo de un sistema de tierras²⁴ en una instalación eléctrica, es proporcionar una superficie debajo del suelo y alrededor de la instalación, que tenga un potencial tan uniforme como sea posible, y lo más próximo posible a cero, o al potencial absoluto de tierra, con vistas a asegurar principalmente que:

- Todas las partes de los aparatos (distintas de las partes vivas), que se conecten al sistema de tierras (a través de conductores de puesta a tierra), estén al potencial de tierra.
- Los operadores y personal de la instalación, estén siempre al potencial de tierra.

Los sistemas de tierras en las subestaciones eléctricas adoptan la forma de malla (ver figura 4.2), la cual contiene un número determinado de pequeñas mallas rectangulares o cuadradas, de conductores de tierras instalados en forma horizontal, y conductores a electrodos (varillas), localizados a ciertos intervalos.

²⁴ Enríquez Harper, Gilberto / El A B C de las instalaciones Eléctricas Industriales / pág. 535

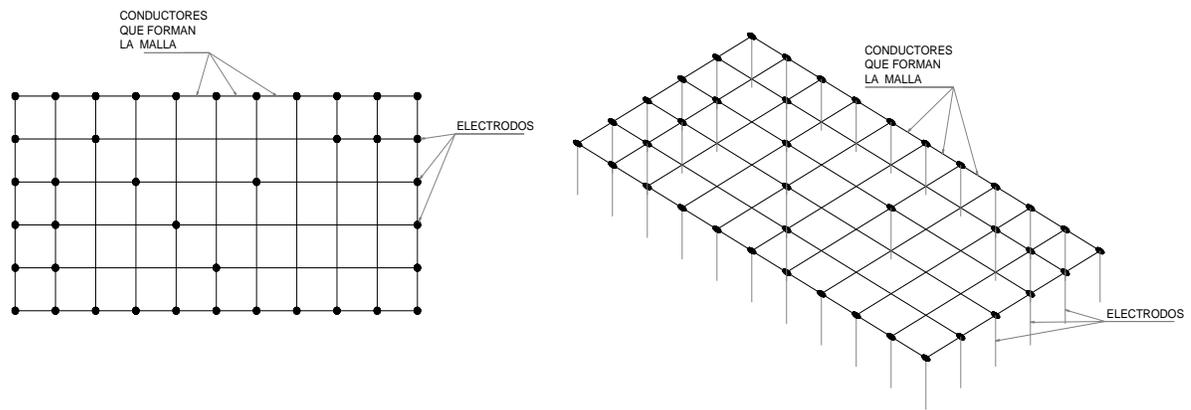


Fig. 4.2 - Malla del sistema de tierras de una subestación eléctrica

Los electrodos de tierras (varillas), se pueden usar o no, dependiendo del diseño de la malla de tierra, todas las estructuras metálicas y carcasas de equipo, incluyendo las rejillas metálicas en las áreas de trabajo, se deben conectar por seguridad, a la malla de tierra.

La resistividad del suelo varía dentro de límites muy amplios, entre 1 y 10,000 ohm-metro.

En el caso de las subestaciones eléctricas, es necesario obtener datos bastante aproximados de la resistividad del terreno, y sus variaciones en el sitio de la instalación de la subestación.

También la resistividad del terreno puede variar en forma considerable, dependiendo de la época del año en que se hagan las mediciones; por ejemplo, si se efectúan mediciones con terreno seco (por lo general en invierno), se obtienen valores altos de resistividad; y si en cambio se efectúan en verano con terreno húmedo, los valores resultan bajos; por lo que siempre que sea posible, los valores de resistividad se deben obtener en épocas de secas, para obtener el máximo valor de la resistividad del suelo.

Cuando se trata de áreas a cubrir por una instalación eléctrica, se deben efectuar mediciones en distintos puntos, y entonces la resistividad del terreno, se puede tomar en forma aproximada como la media aritmética de las mediciones.

4.2.1 Conexión a tierra del equipo²⁵

Los usuarios de las instalaciones eléctricas, ya sean residenciales, industriales o comerciales, así como es el caso de hospitales, centros de cómputo o edificios de oficinas, están tocando constantemente el equipo eléctrico, o los equipos que hacen uso de dispositivos eléctricos; como es el caso de las herramientas como taladros, soldaduras eléctricas, etc.

Debido a que los voltajes y corrientes asociados con estos equipos, pueden exceder los valores que el cuerpo humano es capaz de soportar, es necesario adoptar precauciones especiales para garantizar que el equipo tenga las condiciones de seguridad requeridas.

Para comprender los aspectos de la seguridad en las instalaciones eléctricas, el siguiente ejemplo puede servir para ilustrar más detalladamente la mejor forma de realizar la conexión a tierra de equipos, para lo cual utilizamos un sistema básico en baja tensión, y monofásico a 127 volts.

a) Sistema no conectado a tierra.

Consideremos un motor eléctrico que forma parte de un equipo, que está dentro de una cubierta metálica no conectada a tierra. El neutro se encuentra sólidamente conectado a tierra, en el punto de alimentación de la compañía suministradora, ver figura 4.3.

Si una persona toca la cubierta metálica no sucederá nada si la instalación está operando correctamente, pero si el aislamiento de los devanados falla, la

²⁵ El A B C de las instalaciones Eléctricas Industriales / Enríquez Harper / pág. 543

resistencia R_e entre el motor y la cubierta metálica, puede reducir su valor de varios Megohms a solo algunos cientos de ohms o menos, de manera que una persona con una resistencia R_k puede completar el circuito cerrando la trayectoria de la corriente.

²⁶Si el valor de R_e es pequeño (lo cual puede suceder), la corriente I_k puede ser grande y resultar peligrosa.

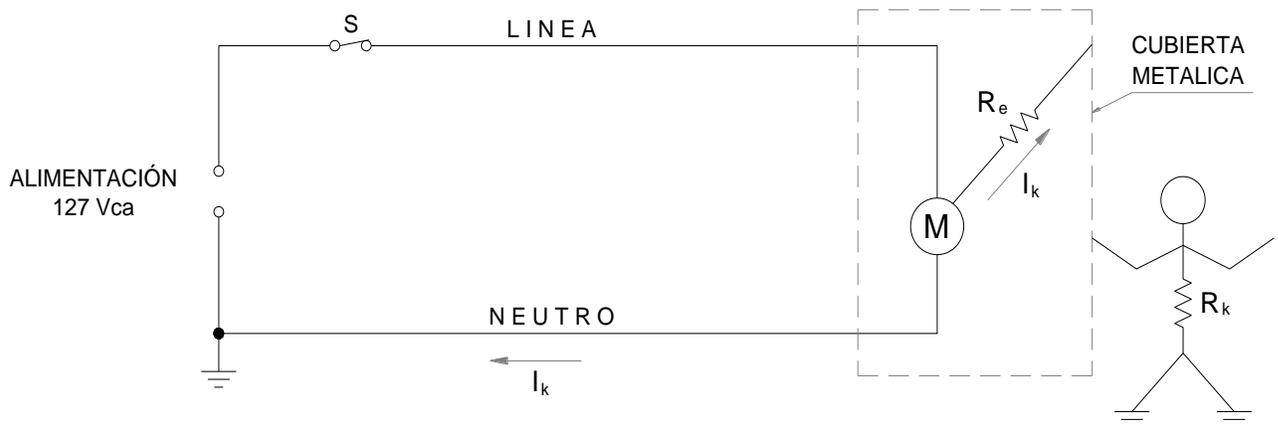


Fig. 4.3 – Sistema NO conectado a tierra. (Peligroso)

La situación potencialmente peligrosa, se puede remediar si se conecta a tierra la cubierta metálica.

b) Conexión a tierra a través del neutro.

En la figura 4.4 podemos apreciar el mismo sistema que tenemos en la figura 4.3, sólo que esta vez con la conexión de la cubierta metálica a tierra a través del hilo neutro. En este caso el neutro se encuentra aterrizado en el punto de alimentación de la compañía suministradora.

Ahora la corriente I_k circulará del motor a través de la cubierta, y regresará por el neutro, pero la cubierta permanece al potencial de tierra, y en consecuencia la persona no sufre ningún efecto.

²⁶ Enríquez Harper, Gilberto / El A B C de las instalaciones Eléctricas Industriales / pág. 545

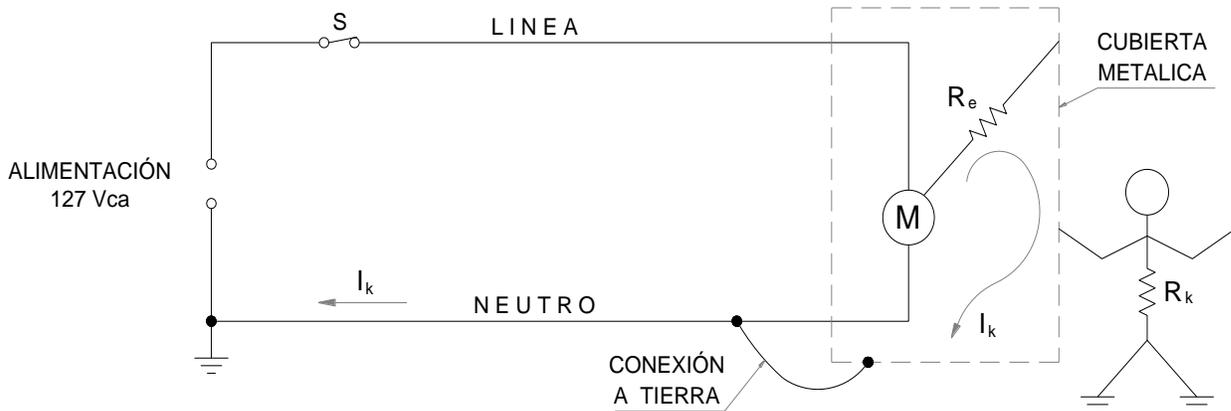


Fig. 4.4 – Conexión a tierra a través del neutro

En el caso de la ²⁷figura 4.4, el conectar a tierra la cubierta metálica a través del neutro, puede parecer seguro, pero en ocasiones el neutro podría quedar abierto, ya sea de forma accidental o debido a una falla en la instalación.

c) Uso del conductor de tierra

Para evitar que se presente esta situación, se acostumbra en algunas instalaciones eléctricas, instalar un tercer conductor llamado “**conductor de tierra**”, localizado entre la cubierta metálica y la tierra del sistema en el punto de la acometida, ver figura 4.5.

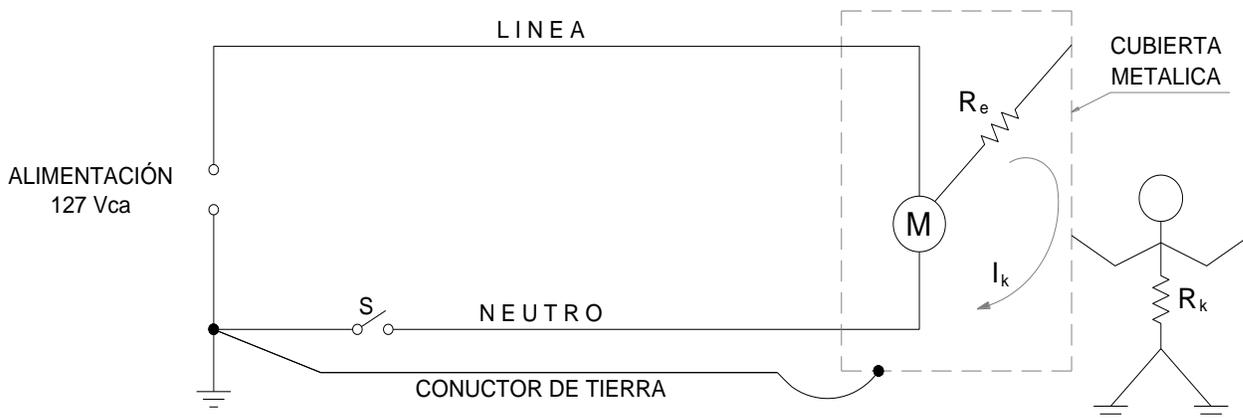


Fig. 4.5 – Uso del conductor de tierra

²⁷ Enríquez Harper, Gilberto / El A B C de las instalaciones Eléctricas Industriales / pág. 546 y 547

4.2.2 Cálculo de la red de tierras de la subestación

Los elementos necesarios para el cálculo de una Red de Tierras²⁸ son:

- a) Selección del material de tierra.
- b) Determinación del tamaño del conductor de Tierra.
- c) Arreglo preliminar de los conductores de Tierra.
- d) Determinación de la longitud requerida, para el control del gradiente.
- e) Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

a) Selección del material de tierra

El conductor para el material de tierra, debe cumplir con las siguientes características: tener una alta conductividad, un bajo índice de comición por efecto del terreno y tener al mismo tiempo un bajo índice de corrosión, siendo el **cobre** el que mejor cumple con estos requisitos, por lo que es el que más se usa en la mayoría de los casos.

En algunas ocasiones también puede utilizarse el acero para la red de tierras, ya que este material tiene la ventaja de encontrarse disponible en el mercado y en algunos lugares resulta ser más barato que el cobre, sin embargo presenta una desventaja principal que es la corrosión en el terreno, la cual se da aproximadamente seis veces más rápido que en el caso del cobre.

Para reducir este efecto, se usa acero galvanizado, que retarda el efecto de la corrosión, pero que de cualquier manera, es más acelerado que en el cobre.

²⁸ Enríquez Harper, Gilberto / El A B C de las instalaciones Eléctricas Industriales / pág. 547

b) Determinación del calibre del conductor de tierra

En la selección del calibre del conductor usado en una malla de tierras, intervienen los siguientes factores:

- Que tenga estabilidad térmica, en las corrientes de falla a tierra.
- Que sea mecánicamente resistente.
- Que tenga una duración de al menos 50 años sin rupturas, en la red de tierras, debido a problemas de corrosión.
- Que tenga una conductividad adecuada, para no contribuir sustancialmente a los gradientes de potencial locales.

Desde el punto de vista de las consideraciones térmicas, el calibre del conductor depende de los siguientes factores:

- El valor de la corriente de falla a tierra.
- El tiempo de interrupción de la falla.
- El material del conductor.

En subestaciones eléctricas por razones mecánicas, es frecuente usar como calibre mínimo el calibre 4/0 AWG (107.2mm²) de cobre.

En el proyecto eléctrico del edificio del UPSC, la selección de los conductores del electrodo de tierra y los conductores de puesta a tierra de todos los circuitos derivados se hizo tomando en cuenta lo establecido en el artículo 250 de la Norma Oficial Mexicana **NOM-001-SEDE-2005**; estos calibres están reflejados en las cédulas de cableado de los planos del proyecto eléctrico, ver capítulo VI “Planos del proyecto eléctrico”.

De acuerdo con la **NOM-001-SEDE-2005**, se recomienda que el calibre del **conductor del electrodo de tierra**, no sea menor que el que se indica en la **tabla 250-94²⁹**, para conductores de cobre, esta tabla se muestra a continuación.

TABLA 250- 94.- Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm ² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de puesta a tierra mm ² (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,6 (2) o menor	53,5 (1/0) o menor	8,37 (8)	13,3 (6)
42,4 o 53,5 (1 o 1/0)	67,4 o 85,0 (2/0 o 3/0)	13,3 (6)	21,2 (4)
67,4 o 85,0 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,2 (4)	33,6 (2)
Más de 85,0 a 177 (3/0 a 350)	Más de 127 a 253 (250 a 500)	33,6 (2)	53,5 (1/0)
Más de 177 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253 a 456 (500 a 900)l	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456 a 887 (900 a 1750)	67,4 (2/0)	107 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 887 (1750)	85,0 (3/0)	127 (250)

²⁹ Secretaría de Energía / Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 / Tabla 250-94

Por otra parte, el calibre mínimo del conductor de puesta a tierra para canalizaciones y equipos que establece la **NOM-001-SEDE-2005**, se encuentran en la **tabla 250-95³⁰**.

TABLA 250-95.- Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal mm2 (AWG o kcmil)	
	(A)	Cable de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)
500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1 000	67,4 (2/0)	107 (4/0)
1 200	85,0 (3/0)	127 (250)
1 600	107 (4/0)	177 (350)
2 000	127 (250)	203 (400)
2 500	177 (350)	304 (600)
3 000	203 (400)	304 (600)
4 000	253 (500)	405 (800)
5 000	354,7 (700)	608 (1 200)
6 000	405 (800)	608 200)

³⁰ Secretaría de Energía / Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005/ Tabla 250-95

c) Arreglo preliminar de los conductores de Tierra

El arreglo preliminar de los conductores de tierra, se decide sobre las siguientes bases:

- Un conductor de tierra continuo, que debe rodear el área de la instalación, particularmente de la subestación eléctrica, para encerrar la mayor cantidad posible de terreno.
- Conductores de tierra adicionales, se colocan en líneas paralelas distribuidos uniformemente en forma de cuadrícula, con separaciones razonables.
- Eventualmente se puede usar en algunas áreas, placa de cobre en lugar de la malla cuadrículada, esto especialmente donde la magnitud de las corrientes de falla es elevada, o bien en donde la resistividad del terreno es muy elevada, o también en salas en donde se efectúan mediciones precisas, y se requiere un buen blindaje con poca interferencia.
- Las varillas o electrodos se consideran como un complemento de la malla de tierras, y se deben distribuir de manera uniforme, y cercanos a puntos donde se encuentra el equipo instalado. Una regla práctica para determinar el número mínimo de electrodos (varillas de tierra), indica que se debe dividir la corriente de falla entre 500, es decir:

$$N_{\text{Varillas}} = \frac{I_{\text{Falla}}}{500}$$

Donde:

N_{varillas} = Número mínimo de varillas de 3 m x 3/8

I_{Falla} = Corriente de falla

La subestación eléctrica del edificio UPSC, a la que me refiero en este informe, cuenta con una malla de tierras formada con conductores de cobre calibre 4/0 AWG, de aproximadamente 4x11 m, con un reticulado de 1 m², con un total de 12 electrodos de 3m x 3/8”, distribuidos como se muestra en la figura 4.6 que a continuación aparece.

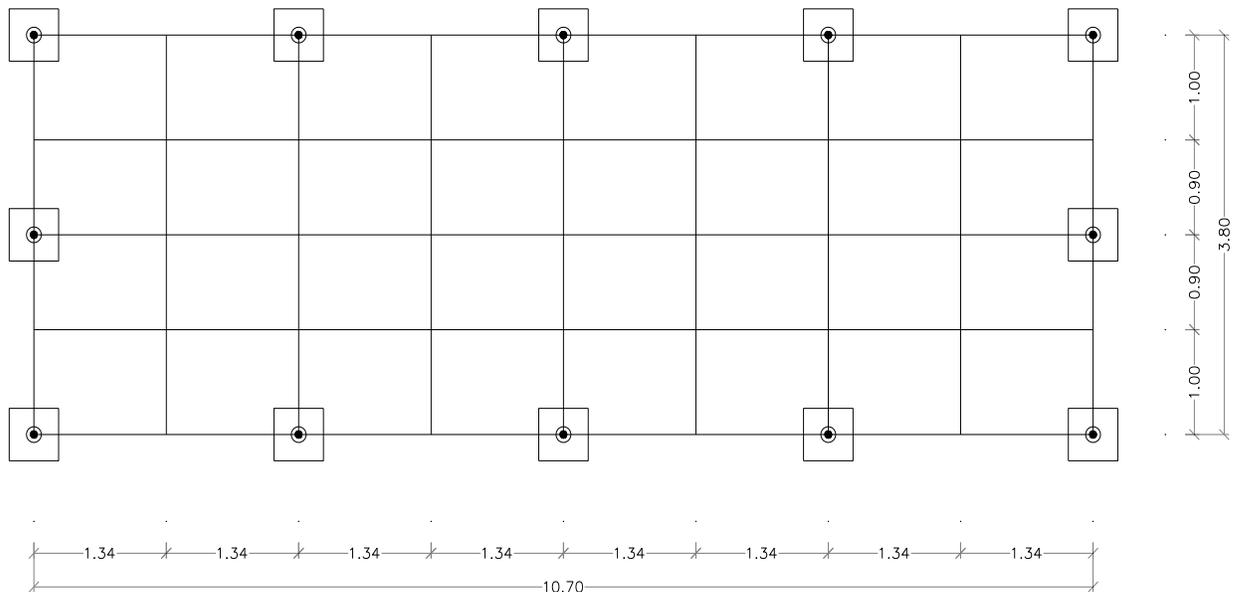


Fig. 4.6 – Malla de Tierras de la subestación eléctrica.

d) Determinación de la longitud requerida, para el control del gradiente.

Con el fin de mantener los potenciales de paso y de contacto, dentro del perímetro de la malla en sus valores de seguridad, se requiere cierta longitud mínima del conductor en la varilla de tierra.

La siguiente ecuación, permite calcular la longitud aproximada de los conductores de la malla, para mantener el potencial dentro de sus límites de seguridad:

$$L = \frac{K_M K_I \rho I \sqrt{T}}{165 + 0.25 \rho_s} \quad (\text{metros})$$

Donde:

$$K_M = \frac{1}{2\pi} \text{Ln} \frac{D^2}{16 h d} + \frac{1}{\pi}$$

Donde:

D = Separación entre conductores paralelos

h = Profundidad de la malla (0.5m en promedio)

d = Diámetro equivalente del conductor de la malla

K_I = Factor de irregularidad de la conexión

Para prevenir el efecto de la no uniformidad de la distribución de la corriente de falla a lo largo de la malla, el valor de este factor, se obtiene de la expresión:

$$K_I = 0.65 + 0.172 N$$

N = Número de conductores en paralelo de la malla en una dirección

ρ = Resistividad aparente del terreno en ohms-metro

I = Corriente máxima de falla en amperes

ρ_s = Resistividad del terreno debajo del punto donde se pisa expresada en ohms-metro. (se puede tener con fines conservadores, como 3,000 ohms-metro).

e) Cálculo de la resistencia del sistema de tierras

Para el cálculo del valor de la resistencia del sistema de tierras, se puede usar la formula siguiente de Laurent.

$$R = \frac{\rho}{4 r} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

r = Radio equivalente de la subestación.

ρ = Resistividad aparente del terreno en ohms-metro

L = Longitud total del conductor de la malla, en metros

4.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El propósito básico de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas (rayo) es proporcionar trayectorias para que las descargas atmosféricas entren o salgan de tierra sin causar daños a las instalaciones o lesiones al personal.

Los componentes esenciales de un sistema de protección contra rayos son las terminales aéreas, los conductores de techo y sus bajadas que conectan a los electrodos o varillas de tierra y el sistema de electrodos de tierra. Estos componentes actúan juntos como un sistema de disipación de las corrientes de descargas atmosféricas.

El sistema de protección contra descargas atmosféricas debe satisfacer los requerimientos de la NOM-001-SEDE-2005, los conductores metálicos, las terminales aéreas, conectores, bases, electrodos y demás accesorios deben de ser del mismo material (cobre) y para uso específico del sistema de pararrayos.

Las especificaciones que rigen la construcción de los sistemas de pararrayos, son en su mayoría tomadas de las correspondientes a la "N.F.P.A" "National Fire Protection Association" y "U.L." "Underwrites Laboratories, Inc." de los Estados Unidos, adaptadas a nuestras necesidades así como a la disponibilidad de materiales para ese uso en nuestro país.

Para seleccionar un sistema de protección contra descargas atmosféricas adecuado, es necesario primero determinar el tipo de edificación sobre la que se diseñará el sistema de tierras y pararrayos, para esto es necesario hacer una clasificación de edificios como se muestra a continuación.

4.3.1 Clasificación de edificios

Existen diferentes tipos de edificios que se deben de considerar en protección contra descargas atmosféricas. Se puede considerar que los edificios se dividen en dos categorías principales:

Clasificación General:

1. Basada en la altura de los edificios
2. Basada en la pendiente de los techos

1. *Basada en la altura de los edificios*

La clasificación basada en la altura de las construcciones considera dos tipos diferentes³¹:

- a) **Edificios de clase I** – se considera un edificio **clase I** a todo un edificio con altura inferior a los 23m
- b) **Edificios de clase II** - un edificio **clase II** es aquel cuya altura rebasa los 23m, o bien, todo el edificio que tiene una estructura de acero, de cualquier altura cuya estructura puede substituir a los conductores de bajadas de tierras.

2. *Basada en la pendiente de los techos*

En lo referente a la inclinación o pendiente de los techos, quedan clasificados en:

- a) **Techos o azoteas planos** - o de pendientes ligera, estos son todos aquellos que no exceden de 12m de ancho y cuya inclinación es menor de 1/8. Están considerados dentro de esta misma categoría los que sobrepasan 12m de ancho, con una pendiente de ¼ o menos.
- b) **Techos inclinados** - Todos aquellos que tienen una inclinación mayor a las indicadas anteriormente.

³¹ Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 366

En la realización del proyecto eléctrico del edificio presentado en este informe (USPC), se clasificó como un edificio **clase II**, por su estructura metálica aun cuando no rebasa los 23m de altura; y a pesar de que en la actualidad existen modernos sistemas de protección contra descargas atmosféricas, como son los diferentes sistemas con puntas ionizantes, en el USPC se seleccionó el sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre electrolítico anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin.

La razón principal de esta selección es que el edificio cuenta con helipuerto, y debido a esto, no puede haber estructuras más altas que la plataforma del helipuerto, que pudieran interferir con la operación adecuada del mismo.

4.3.2 Especificación de materiales

Los materiales usados en los sistemas de protección contra descargas atmosféricas deben ser resistentes a la corrosión y deben de estar debidamente protegidos contra ella.

Por esta razón, no se deben combinar materiales que formen un par eléctrico de tal naturaleza que la corrosión se acelere en presencia de humedad.

Los materiales con los que se recomienda construir los sistemas de protección contra descargas atmosféricas³² son:

- **Cobre:** Generalmente se especifica teniendo un 95% de conductividad.
- **Aleaciones de cobre:** Estas deberán ser sustancialmente tan resistentes a la corrosión como el cobre en igualdad de condiciones.
- **Diseño:** Los diseños de los materiales que se utilicen en protección contra rayos deberán ser los que permiten el mejor aprovechamiento de los materiales y que además sean adecuados para cada función determinada. Su diseño será especialmente para pararrayos.

³² Enríquez Harper, Gilberto / La Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos / pág. 367

a) Terminales aéreas o puntas

Las terminales aéreas o puntas deberán ser fabricadas con varilla maciza de cobre electrolítico. Su diámetro será de 13 mm y el largo de las mismas deberá de ser tal que su extremo cónico quede a no menos de 25cm del objetivo que haya que protegerse.

Las terminales aéreas están soportadas por bases fundidas y sujetas directamente a ellas, mediante una cuerda roscada de no menos 5 hilos. Para su mayor conservación y mejor presentación, deberán ser niqueladas o cromadas.

Cuando se usen terminales aéreas de más de 60m, éstas deberán quedar sustentadas por tripies unidos en forma rígida y permanente al edificio. El punto de sustentación de estos tripies con las terminales, deberá quedar cuando menos a la mitad de su altura.

b) Conductores

Los conductores que se emplean para estas proporciones, deberán estar diseñados y fabricados especialmente para pararrayos. Estarán trenzados con alambres de cobre suaves del calibre indicado y deberán ofrecer en peso y conductividad lo que señalan las especificaciones anteriormente mencionadas, para usarse en edificios de clase I ó clase II, según sea el caso.

No se aceptarán conductores de cobre duro o semiduro normalmente usados para sistemas de tierras u otros usos eléctricos.

Los conductores para interconexión de sistemas metálicos, conducción de agua, de calefacción por agua caliente, o bien que tengan baja resistencia a tierra, deberán tener la misma medida que el conductor principal.

De acuerdo con el estándar NFPA 780, existen dos clases de materiales (terminales aéreas, cables, accesorios y terminales de tierra). Los materiales **clase I** se utilizan para la protección de estructuras que no exceden de 23 m de altura, y los materiales **clase II**, para las estructuras que si exceden dicha altura.

Las diferencias más importantes de las dos clases de materiales se muestran en la tabla 4.1 tiene:

	Clase I	Clase II
Terminales Aéreas, diá (mm)	9,5 Cobre, 12,7 Aluminio	12,7 Cobre, 15,9 Aluminio
Conductor principal, peso	278 g/m Cu, 141 g/m Al	558 g/m Cu, 283 g/m Al
calibre	29 mm ² Cu, 50 mm ² Al	58 mm ² Cu, 97 mm ² Al
tamaño mínimo de alambre	17 AWG Cu, 14 AWG Al	15 AWG Cu, 13 AWG Al

Tabla 4.1 - Requerimientos mínimos de conductores en edificios

c) Bases conectores y desconectores

Todo el material empleado en estas instalaciones para cruces derivaciones y empalmes, así como las bases para terminales áreas, abrazaderas para tierra y desconectores de tierra deberán ser fundidos en alguna aleación de cobre con un espesor mínimo de 2.38 mm.

d) Terminales a tierra o electrodos

Las terminales a tierra deberán ser de acero chapado con cobre, de cobre macizo o de acero inoxidable de 13mm de Ø y 2.44m de largo como dimensiones mínimas o bien rehiletos contruidos con lámina de cobre calibre # 20 AWG como mínimo, y una superficie de contacto no menor de 0.20 m².

e) Abrazaderas para cable

Las abrazaderas para sujetar los conductores deberán ser resistentes a toda rotura, y deberán ser, junto con los clavos, tornillos o pernos con que se fijen, del mismo material que el conductor.

f) Prevención de daños mecánicos

Cuando cualquier parte de un sistema de protección esté expuesto a daños mecánicos, deberá protegerse recubriéndola con una cubierta moldeada o tubería. Si en torno del conductor se utilizan tubos o conductos de un metal ferroso, el conductor deberá estar eléctricamente conectado por sus dos extremos a la tubería o ducto.

4.3.3 Instalación del Sistema de Pararrayos

En las azoteas o techos de pendiente ligera, las terminales aéreas deberán ir localizadas en torno al perímetro. Los intervalos entre terminales no serán mayores de 6.00m en los perímetros y 15.00m en las zonas intermedias.

Cuando se trate de edificios que excedan 15.00m de ancho, deberán además llevar terminales aéreas adicionales a intervalos no mayores de 15.00m en las zonas intermedias.

Cuando se usen terminales aéreas de 0.60m los intervalos de los perímetros no deberán ser mayores de 7.60m. Los techados con pendiente ligera son los que tienen una extensión de 12.00m o menos y una pendiente de 1/8 o los que tienen una anchura de más de 12.00m, y una pendiente de ¼ o menos.

a) Instalación de los conductores

En techos y azoteas

Los conductores ligarán entre sí todas las terminales aéreas y deberán formar un sendero de doble dirección, horizontal o descendente, desde cada una de las terminales aéreas hasta las conexiones con las terminales a tierra.

Los conductores deberán tenderse en un plano horizontal a lo largo de cumbreras, de techados abovedados en torno del perímetro de techados planos, detrás o en lo alto de parapetos, y a través de extensiones planas de azoteas.

El recorrido de los conductores deberá ser siempre horizontal o descendente, libre de cualquier desnivel "U" o en "V", tanto hacia arriba como hacia abajo. Estos desniveles que a menudo se presentan deberán de estar previstos de un

conductor de bajada desde la parte inferior del desnivel a tierra, o al conductor principal.

Curvas Ligeras.- Ninguna curva de conductor deberá formar un ángulo de más de 90°, ni deberá tener un radio de curvatura de menos de 20cm

Soportes.- Los conductores pueden tenderse en forma aérea sin soporte alguno, en distancias de 0.90m o menos. Por medio de una varilla de 5/8" (15.9 mm) o su equivalente, firmemente sujeta en cada extremo, sirviendo de soporte, puede tenderse en forma aérea un conductor hasta una distancia que no rebase (1.80 m)

Empalmes.- En todos los empalmes de conductores, tanto "a tope" como en "T" o en "Y", habrán de utilizarse conectores "Rectos" o "T" y deberán soportar una prueba de tracción de 900 kg.

Dentro de los requisitos para la **clase I** son aceptables los empalmes con conectores, tanto de tipo plegado como con tornillos, de metal estampado o colado. En instalaciones **clase II** no habrán de usarse empalmes con conectores de tipo plegado.

Tramos transversales en techados.- Los techos planos o de pendiente ligera cuyas dimensiones excedan de 15.00m, de ancho y/o 45m de largo deberán llevar, además del conductor principal del perímetro, tramos adicionales de conductor de mismas especificaciones, localizadas en forma tal que dependiendo de las dimensiones del techo, formen una malla ligada al conductor perimetral cuyos rectángulos que la constituyen no excedan de 15.00m por 45.00m. ver la figura 4.7.

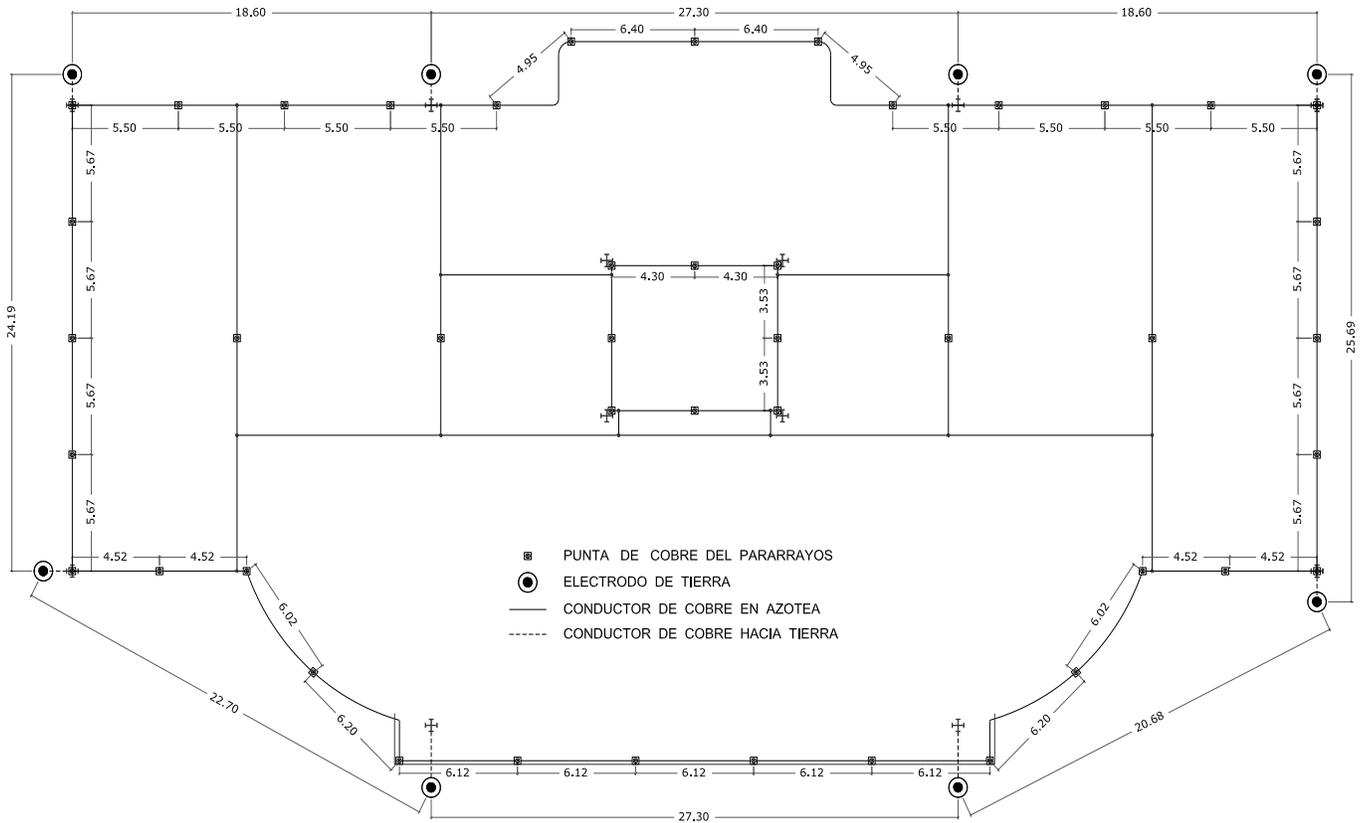


Fig. 4.7 – Sistema de tierras y pararrayos

b) Instalación de conductores en bajadas a tierra

Recorrido y cantidad.- Cualquier tipo de construcción tendrá cuando menos dos conductores de bajada. La localización de los mismos dependerá de la colocación de las terminales aéreas, del tamaño de la estructura, de que su recorrido a tierra sea el más directo posible y del lugar en que se encuentren cuerpos metálicos y tuberías de agua y también de las condiciones del subsuelo. El número de conductores de bajada no debe ser menos de dos para edificios con una periferia de 76.0m ó menos, y deben estar separados tan ampliamente como sea posible, esto es en las esquinas opuestas, en forma diagonal o en muros cuadrados o rectangulares.

Los edificios con perímetros mayores de 76.0m deben tener un conductor de bajada por cada 30.5m de distancia de perímetro, tal es el caso del edificio del USPC que se muestra en la figura 4.7 anterior, con un total de 8 bajadas a tierra.

Las estructuras de forma irregular en ciertos casos pueden requerir conductores extras de bajada para lograr un camino de doble dirección a tierra desde las terminales aéreas, de las cumbreras principales o de las alas laterales. Para determinar el número necesario de conductores de bajada, ha de medirse sólo el perímetro "Protegido", es decir, las extensiones de techados y salientes bajos.

c) Instalación de bases y abrazaderas para cable

Sujetadores.- Las bases para punta y las abrazaderas para cable deberán estar firmemente sujetas a la construcción o a otro objeto sobre el que se les haya colocado mediante tornillos y taquetes.

Los tornillos que se usen, deberán ser del mismo material que las piezas que vayan a sujetar o de un material que no tenga corrosión, electrolítica en presencia de humedad o por contacto entre materiales disimiles. Los abrazadores para cable irán separadas una de otra 0.90m como mínimo.

Anclaje de sujetadores.- Los sujetadores deberán tener un diámetro de no menos $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.4mm) y habrá de instalárseles cuidadosamente, los agujeros que hayan de recibir la espiga del sujetador habrán de ser del tamaño correcto, hechos con herramientas adecuadas y abiertos en tabique o piedra más que en juntas de mortero. Una vez instalado el ajuste ha de ser estanco a la humedad y capaz de resistir una prueba de tracción de 450kg.

d) Instalación de terminales de tierra o electrodos

Conexiones Soldables.- Las conexiones utilizadas en el sistema de electrodos del sistema de pararrayos, son las conexiones soldables y no las conexiones mecánicas. El método de la soldadura para realizar conexiones eléctricas está

basado en la reducción del óxido de cobre por el aluminio. Esta reacción química desarrolla una cantidad elevada de calor.

Para la realización práctica, se utiliza un molde de grafito resistente a temperaturas elevadas. El polvo de óxido de cobre y aluminio, así como el polvo de encendido se colocan en el interior del molde. La reacción química se inicia por medio de una chispa y es prácticamente instantánea.

El cobre liberado por la reacción (aproximadamente 1,800°C en el grado de fusión) baja por un ducto hacia la cavidad de la soldadura. Por la influencia del elevado calor desarrollado, los metales base se sueldan en una verdadera conexión molecular.

4.3.4 Condiciones del tipo de suelo

a) Variaciones debidas a las condiciones del subsuelo

Ninguna terminal de tierra deberá estar localizada a menos de 0.60m de la pared de los cimientos. El diseño, el tamaño, la profundidad, la forma y el número de terminales a tierra que se encuentran reflejados en el proyecto eléctrico, ver plano "IE-18" del capítulo VI, y en la figura 4.8 siguiente.

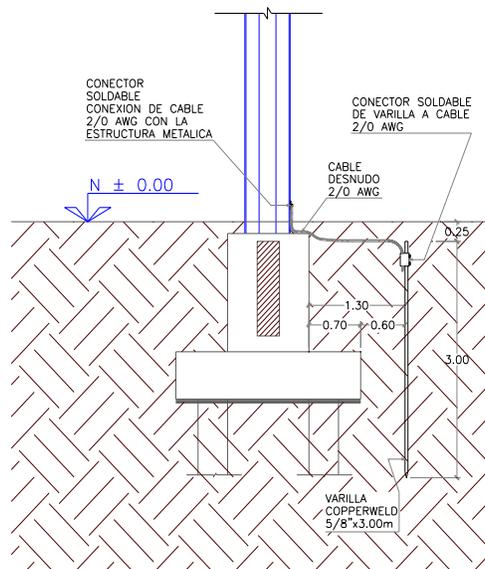


Fig. 4.8 – Electrodo de puesta a tierra

b) Subsuelo arcilloso húmedo profundo

Este es el caso del edificio del USPC, la terminal de tierra deberá penetrar verticalmente no menos de 3.00m en el suelo, deberá apisonarse la tierra, dejándola bien apretada a todo lo largo del conductor y de la terminal de tierra, y con la finalidad de aumentar la efectividad de la instalación se preparará la tierra con un compuesto químico que aumenta la disipación de la energía eléctrica a tierra.

c) Suelo arenoso o de gravilla

En arena o gravilla deberán penetrar verticalmente no menos de 3.00m debajo del nivel el suelo, dos o más terminales de tierra con separación de no menos de 3.00m entre ellas.

d) Subsuelos tepetatosos

En los lugares en los que el subsuelo es de tepetate, resultaría imposible clavar una varilla de tierra, para esos casos el uso de rehiletos representa la solución más práctica y adecuada. Cada conductor de bajada habrá de ir teniendo en una zanja de 0.30m a 0.60m de profundidad, hasta una distancia mínima de 3.00m del edificio protegido. En ese lugar, se hará un pozo de 1.00m X 1.00m y 1.50m de profundidad; el rehilete deberá quedar enterrado en dicho pozo, en una mezcla de carbón y sal con una relación de una parte de sal por tres de carbón.

e) Subsuelo poco profundo

En todos los lugares en que el lecho rocoso está cerca de la superficie, los conductores habrán de tenderse en zanjas que alojen del edificio cada uno de los conductores de bajadas. Estas zanjas no habrán de tener menos de 3.7 m. de longitud y de 0.3m a 0.6m de profundidad, cuando sean en suelo arcilloso; en suelo arenoso o de gravilla, la zanja no habrá de tener menos de 7.3m de longitud y 0.6m de profundidad.

Si no fuese posible llevar a la práctica estos métodos, una alternativa aceptable de los mismos será tender en el cable zanjas de la profundidad antes especificada o,

si esto tampoco fuese posible, tenderlo directamente en el lecho de la roca hasta una distancia mínima de 0.6m de los cimientos o de la zapata exterior, y unirlo a una placa de cobre, enterrada en el piso, esta placa de cobre deberá tener un espesor de, cuando menos, 0.8mm y una superficie mínima de contacto de 0.18m²

Si el subsuelo tiene menos de 0.3m de profundidad, el edificio protegido deberá estar rodeado por un conductor igual al principal (Anillo Perimetral) tendido en una zanja o bien en grietas de la roca. Partiendo de este anillo perimetral, deberá tenderse un conductor que llegue hasta fosos u oquedades en los que se depositará metal adicional.

Esto se llevará a cabo depositando una placa de cobre de aproximadamente 0.84m² de extensión y de 0.032 de pulgada 0.8mm de espesor, o su equivalente de metal resistente a la corrosión, conectada a los conductores laterales y cubierta con tierra suelta para que absorba la humedad provocada por la lluvia.

f) Resistencia de las tomas de tierra

Cada toma de tierra deberá ofrecer una resistencia menor de 25 OHMS. En caso de que con una sola varilla o rehilete se obtenga una resistencia mayor, se deberán agregar tantas tomas adicionales como sea necesaria para obtener la resistencia antes mencionada.

4.3.5 Ligas de tomas de tierra

Todos los sistemas de tierra de un edificio habrán de estar ligados juntos entre sí. Esta conjunción comprenderá las tomas de tierra de los sistemas eléctricos, de antenas, y otros sistemas subterráneos de tuberías metálicas que penetran en el edificio.

Estos sistemas de tubería incluirán:

- Suministro de agua
- Tuberías conduit metálicas
- Tuberías de gas, etc.

Las interconexiones entre los diferentes sistemas de tierra habrán de hacerse utilizando los mismos conductores y conectores que los usados en el sistema de pararrayos.

4.3.6 Ligas de cuerpos metálicos al sistema de pararrayos

a) Liga de masas metálicas

Determinados cuerpos metálicos, de conductancia o de inductancia, contribuyen al peligro de caída de rayos o de descargas laterales en el exterior o el interior de los edificios y, por lo tanto, han de ligarse al sistema de pararrayos.

b) Protección de cuerpos metálicos de conductancia

Los cuerpos metálicos de conductancia deberán estar protegidos, cuando no se encuentren dentro de la zona de protección de una terminal aérea.

Todos los cuerpos metálicos de conductancia que tengan una superficie de 0.26m^2 o mayor, o un volumen de 0.016m^3 o más grande, deberán estar ligados al sistema de protección contra rayos, utilizando para ello conductores principales y conectores de contacto no menor de 19cm^2

Deberán tomarse las disposiciones necesarias para que haya una guarda contra el efecto corrosivo que los metales disimiles introducen en los puntos de liga.

c) Liga de cuerpos metálicos de inductancia

Los cuerpos metálicos de inductancia deberán estar ligados al sistema, en su punto más cercano al mismo, utilizando para ello conductores y conectores para ligas. Es posible que algunos cuerpos metálicos lo sean tanto de inductancia como de conductancia, en esos casos se deberá usar conectores de contacto del tipo indicado.

Las conexiones a cuerpos metálicos de inductancia son necesarias si tales cuerpos se encuentran dentro de una distancia de 1.80m o menos del conductor principal o de otro cuerpo metálico ligado.

d) Ligas con la red de agua

La red de agua del edificio también deberá quedar ligada al conductor del Sistema de Pararrayos.

e) Ligas de antenas de radio y T.V y apartarrayos

Los mástiles de metal de las antenas de radio y televisión situados en un edificio protegido habrán de estar ligados al sistema de protección contra rayos por medio de un conductor y conectores del mismo tipo que los usados en el Sistema de Pararrayos.

Independientemente de la liga al mástil de las antenas, los cables de las antenas que van hacia los equipos deberán ser provistos de apartarrayos con el fin de evitarles daños a dichos equipos.

4.4 SISTEMA DE TIERRAS DEL SISTEMA REGULADO

4.4.1 Tierras Aisladas

Tierra Aislada (IG) es una técnica usada frecuentemente con equipo electrónico sensible para reducir el ruido de modo común. La IG aísla la tierra del equipo sensible del sistema de tierras de canalizaciones, y controla la conexión al sistema de tierras de fuerza.

Así, los cambios en el potencial de tierra debidos a corrientes inducidas de tierra que fluyen por las canalizaciones son eliminados, y las charolas y tuberías conduit proveen de blindaje a la interferencia electromagnética (EMI) y a la radio-interferencia (RFI).

La IG es algunas veces mal interpretada como significando una tierra separada y aislada para la carga sensible, y las configuraciones basadas en esta

interpretación son usualmente inseguras y en conflicto con los requisitos del National Electrical Code (NEC).

Si corrientes inducidas en la tierra del equipo aislado fluyen en los cables de datos, comunicación y control, el cableado de IG puede contribuir al ruido de modo común acoplado inductivamente cuando se aplica a circuitos que tienen otros equipos interconectados.

El ruido de modo común es cualquier señal indeseable que es común a todos los conductores del circuito simultáneamente con respecto a tierra. La diferencia de potencial entre el neutro y tierra es una forma de ruido de modo común. Otra forma más problemática es la diferencia de potenciales de tierra en un sistema eléctrico.

Además, la supresión de picos, cableado, blindado y aterrizado del sistema eléctrico del edificio (incluyendo el cableado de control, datos y comunicación) puede tener un efecto pronunciado en los niveles de señales de modo común a los que la electrónica sensitiva puede ser expuesto.

Porque se ha observado que los potenciales a tierra de los equipos (o cambios en ellos) afectan la operación de ciertos equipos electrónicos, frecuentemente hay instrucciones específicas y especiales de aterrizado. La mayoría de esas instrucciones están basadas más que en un análisis riguroso, y los principios básicos de electricidad frecuentemente se ignoran.

Observe que el propósito principal del aterrizado es la seguridad personal, no la reducción de ruido. Estas metas pueden ser mutuamente exclusivas. Si ese es el caso, la seguridad debe prevalecer.

Una técnica de aterrizado usada en sistemas de CA en bajo voltaje para reducir el ruido de modo común es la tierra aislada (IG). La IG está permitida en los E.U. por el Código Nacional Eléctrico (NEC) y en Canadá por el Código Eléctrico Canadiense (CEC). En ambos casos, la IG es una excepción a los requisitos de

aterrizado estándares. El NEC 250-74 y 250-75 permite la IG solamente "donde se requiera para la reducción de ruido eléctrico".

4.4.2 ¿Qué es Aislado?

Tierra aislada se refiere a una tierra aislada (realmente con aislamiento) de la computadora al punto de aterrizado de potencia. El concepto de IG puede verse al comparar un receptáculo estándar con el receptáculo IG. En el receptáculo IG, las terminales de tierra del receptáculo están eléctricamente aisladas de la chalupa metálica y de los conduits metálicos y de las canalizaciones.

Así, hay dos trayectorias de puesta a tierra al punto de aterrizado del sistema de fuerza. Los receptáculos IG son frecuentemente de color naranja o están marcados con un triángulo de ese color.

Como un requisito mínimo del Código, el conduit o la canalización pone a tierra la chalupa. Cuando se usan conduits no metálicos y flexibles (los que no proveen una trayectoria efectiva a tierra) con receptáculos IG, el NEC requiere otro conductor para aterrizar la chalupa.

La razón básica para aterrizar los sistemas de C.A. es para limitar y estabilizar los voltajes y, para facilitar la operación del **dispositivo de protección por sobrecorriente (OPD)** en el caso de una falla a tierra.

Para un sistema sólidamente aterrizado en bajo voltaje de C.A., el NEC 250-51 requiere que todas las cubiertas metálicas de los sistemas eléctricos estén efectivamente aterrizadas, para minimizar el riesgo de un choque eléctrico y facilitar la operación del OPD para abrir la falla a tierra.

El NEC define como aterrizado efectivamente cuando se tiene una trayectoria a tierra que:

- 1) es permanente y continua.
- 2) que tiene una gran capacidad para manejar la corriente de falla a tierra.

- 3) tiene una baja impedancia para permitir que el OPD opere rápidamente para abrir la falla.

Estos requisitos necesitan que un conductor de puesta a tierra de equipos permanentemente conecte todas las cubiertas del sistema eléctrico y cualesquiera otras partes que pudieran llegar a energizarse.

Con el fin de facilitar la operación del OPD para abrir la falla a tierra, los conductores de puesta a tierra de equipos deben estar conectados al punto de aterrizaje del sistema de fuerza.

4.4.3 Trayectoria a Tierra

Con receptáculos convencionales, el conductor de puesta a tierra de equipos está en SERIE con la puesta a tierra de la canalización. Aunque la impedancia a tierra es mejor, puede existir ruido en la tierra de la canalización. Con los receptáculos de tierra aislada, la trayectoria de la puesta a tierra de los equipos está separada de la canalización para evitar el acoplamiento del ruido a la tierra de cómputo.

La terminal de tierra de un receptáculo IG no está conectada al sistema de puesta a tierra de la canalización. En lugar, un cable IG está conectado a la terminal de tierra del receptáculo y, está canalizada junto con los conductores de fuerza, pasando por uno o más paneles de control, permaneciendo aislado de la canalización metálica y del sistema de puesta a tierra de los gabinetes hasta su conexión en el punto de puesta a tierra del sistema de fuerza en la acometida.

El conductor de puesta a tierra aislado debe estar dentro de la canalización. Evidencias experimentales indican una impedancia menor para un conductor de puesta a tierra dentro de una canalización que estando por fuera.

Si existiese una falla a tierra en la carga en un sistema convencionalmente aterrizado o en un aterrizado IG, ambos esquemas proveen de una trayectoria efectiva de aterrizado.

4.4.4 Equipos con cableado fijo

Una forma diferente de IG es permitida por el NEC 250-75 (también por excepción). Es para equipos con cableado fijo. Como no hay receptáculo IG, una boquilla o cople aislante se insertan donde la canalización termina en el gabinete del equipo.

EL NEC recientemente añadió la excepción para equipos con cableado fijo, pero su efectividad y seguridad son cuestionadas. Para aislar la puesta a tierra del equipo, la armazón metálica de la carga debe estar aislada de sus alrededores aterrizados, quizá del mismo edificio.

Existe la preocupación de que con corrientes grandes a tierra (ej. En la presencia de descargas atmosféricas), exista un potencial de choque o que chispas se presenten entre los alrededores aterrizados y el gabinete del equipo.

4.4.5 IG para una fuente derivada independiente

Paquetes con fuentes derivadas independientes (definidas en el NEC) generalmente proveen de la puesta a tierra de los sistemas de cómputo. Usualmente están en los mismos cuartos de cómputo, minimizando el cableado a la carga. Cables largos de tierra aislada (IG) entre la carga y el punto de aterrizado del sistema pueden causar problemas por ruido de modo común por la alta impedancia en alta frecuencia.

Cuando receptáculos de tierra aislada se usan con una fuente derivada independiente, el sistema de tierra aislada (IG) se termina en esta fuente y no en la acometida.

4.4.6 Los Beneficios del cableado IG

Claramente las canalizaciones proveen blindaje de las interferencias electromagnéticas y de radio frecuencia a los conductores encerrados en ellas. Como un beneficio práctico, el cableado IG minimiza las corrientes parásitas.

Corrientes a tierra parásitas que fluyen por el sistema de tierras causan cambios en los potenciales en el sistema. Estas corrientes son una realidad en todos los sistemas eléctricos y, existen bajo una gran variedad de condiciones, la mayoría dinámicas.

Pueden ser causadas por las descargas electrostáticas a los gabinetes, corrientes de falla a tierra, o aún la corriente capacitiva de carga cuando una carga es conectada.

En el cableado IG la referencia a tierra para el equipo es aislada del sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete. Corrientes parásitas fluyen en canalizaciones y gabinete, y los cambios en potenciales de tierra son confinados al sistema de tierras de la canalización metálica y del gabinete.

No hay corrientes parásitas en el cableado IG, así la referencia de tierra para el equipo de utilización no es afectada.

4.4.7 Desventajas de las técnicas de cableado IG

Hay una posibilidad de corrientes inducidas en el conductor de IG en sistemas interconectados.

En la mayoría de las canalizaciones eléctricas, se emplean múltiples conductores individuales en lugar de cable manufacturado. Por lo que la posición del conductor IG relativa a los conductores de fuerza es al azar.

Siempre que el conductor a tierra no está igualmente espaciado entre los conductores de fuerza, los campos magnéticos asociados con las corrientes de los conductores de fuerza no se balancean en el conductor de tierra. El campo magnético neto en A.C., inducirá corriente en el conductor de tierra si es parte de una trayectoria completa o lazo de tierra.

Los circuitos IG evitarán el problema de corrientes de tierra inducidas porque el conductor IG no forma un lazo completo, a no ser que existan sistemas interconectados, enlazados con cables de datos, comunicación o control entre las unidades individuales.

Cables enlazando equipos individuales pueden cerrar el lazo para corrientes inducidas en el conductor IG. Y, porque las corrientes inducidas son forzadas a pasar por los cables de conexión, hay una probabilidad de dañar la carga sensitiva.

Las corrientes inducidas en los cables pueden causar particularmente problemas si son de frecuencias de fuerza. Ejemplo: 60 Hz y sus armónicas. Equipos de video y audio y, procesadores de señal analógica son sensitivos particularmente a esas frecuencias.

Las corrientes inducidas en cables de conexión han llevado a la práctica común de aterrizar las pantallas de los cables únicamente en un extremo. Aunque esta práctica rompe el lazo de corriente, admite la posibilidad de que aparezcan voltajes dañinos o inseguros en el sistema, especialmente durante una falla a tierra, descarga atmosférica u otro evento que cause impulsos.

Normalmente, las técnicas de aterrizado estándar dan menos problemas con corrientes a tierra inducidas. Esto es, porque las corrientes de tierra inducidas tienden a fluir sin consecuencias prácticas en lazos formados por el conductor a tierra y el sistema de canalizaciones, brincando los lazos de alta impedancia que incluyen el cableado de interconexión.

Algunas veces las técnicas de cableado IG son implementadas inadvertidamente cuando la conexión a tierra para canalizaciones se interrumpe. Una causa frecuente es cuando se emplean gabinetes no metálicos en medios corrosivos. Otra causa puede ser el enterramiento de tubería eléctrica en tierra o en concreto. El resultado puede ser el de corrientes inducidas en sistemas interconectados.

También pudieran existir problemas con interferencia electromagnética o de radiofrecuencia si el blindaje metálico se elimina.

4.4.8 Reglas prácticas

Una regla fácil de recordar cuando instalamos cableados IG es que desde el receptáculo de tierra aislada, el conductor IG debe seguir el alambrado hasta el primer puente de unión (neutro-tierra), y debe ser conectado a tierra únicamente en ese punto.

La tierra aislada no debe continuar más allá de ese punto, ni debe conectarse a un electrodo de puesta a tierra separado (estructura del edificio, tubo de agua, o varilla electrodo).

CAPÍTULO V

“SUBESTACIONES”

En el diseño de las subestaciones eléctricas es necesario conocer las especificaciones de los principales componentes y equipos que constituyen el sistema eléctrico así como la función que desempeñan dentro de la subestación eléctrica, con el único fin de prevenir que se incurra en errores de apreciación o de selección.

Todos los elementos de una ³³subestación eléctrica tienen una función que desempeñar y cada uno es importante de acuerdo a la ubicación que guardan dentro del sistema eléctrico; sin embargo es necesario conocer con cierto detalle aquellos elementos que por la función que desempeñan resultan de mayor importancia.

En toda instalación industrial o comercial es indispensable el uso de la energía, la continuidad de servicio y calidad de la energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, es por esto que las subestaciones eléctricas son necesarias para lograr una mayor productividad.

Durante mi experiencia profesional como diseñador de instalaciones eléctricas me he encontrado con la necesidad de conocer los diferentes tipos de subestaciones eléctricas existentes, debido a la particularidad de cada proyecto, ya que para cada caso en particular existen diferentes opciones a elegir según la carga requerida y el tipo de subestación eléctrica que más se adapte al diseño.

En este informe por tratarse específicamente de un edificio de oficinas, me enfocaré a describir particularmente el tipo de subestación eléctrica que corresponde para este tipo de obra, la cual se trata de una subestación compacta que se describirá más adelante en el apartado de “subestaciones eléctricas compactas”. Pero antes haré una breve descripción de los diferentes tipos de subestaciones eléctricas.

³³ Gilberto Enríquez Harper / Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas / pág. 43

Cabe hacer mención, que además de este tipo de subestación existen otros de igual o de mayor tamaño con diferente configuración de equipos, pero todos tienen básicamente el mismo fin de brindar un servicio adecuado con la protección adecuada dependiendo del tipo de carga o servicio.

5.1 TIPOS DE SUBESTACIONES ELECTRICAS

Una subestación es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y mantenimiento.

Las subestaciones se pueden clasificar como sigue:

- Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas.
- Subestaciones receptoras primarias.
- Subestaciones receptoras secundarias.

5.1.1 Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas

Estas se encuentran en las centrales eléctricas o plantas generadoras de electricidad, para modificar los parámetros de la potencia suministrada por los generadores, permitiendo así la transmisión en alta tensión en las líneas de transmisión. Los generadores pueden suministrar la potencia entre **5 KV y 25 KV** y la transmisión depende del volumen, la energía y la distancia.

5.1.2 Subestaciones receptoras primarias

Se alimentan directamente de las líneas de transmisión, y reducen la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o redes de distribución, de manera que, dependiendo de la tensión de transmisión pueden tener en su secundario tensiones de **115 KV, 69 KV** y eventualmente **34.5 KV, 13.2 KV, 6.9 KV o 4.16 KV.**

5.1.3 Subestaciones receptoras secundarias

Generalmente estas están alimentadas por las redes de subtransmisión, y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones entre **34.5KV y 6.9KV**

Las subestaciones, también se pueden clasificar por el tipo de instalación, por ejemplo:

- a) Subestaciones tipo intemperie.
- b) Subestaciones de tipo interior.
- c) Subestaciones tipo blindado.

5.1.4 Subestaciones tipo intemperie

Generalmente se construyen en terrenos expuestos a la intemperie, y requiere de un diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve, etc.) por lo general se utilizan en los sistemas de alta tensión.

5.1.5 Subestaciones tipo interior

En este tipo de subestaciones todos los elementos y equipos están diseñados para operar en interiores, son pocos los tipos de subestaciones tipo interior y generalmente son usados en las industrias.

5.1.6 Subestaciones tipo blindado

En estas subestaciones todos los elementos y equipos están bien protegidos, y el espacio necesario es muy reducido, generalmente se utilizan en fábricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales que requieran poco espacio para su instalación, generalmente se utilizan en tensiones de distribución y utilización.

5.2 PRINCIPALES PARTES DE UNA SUBESTACION ELÉCTRICA

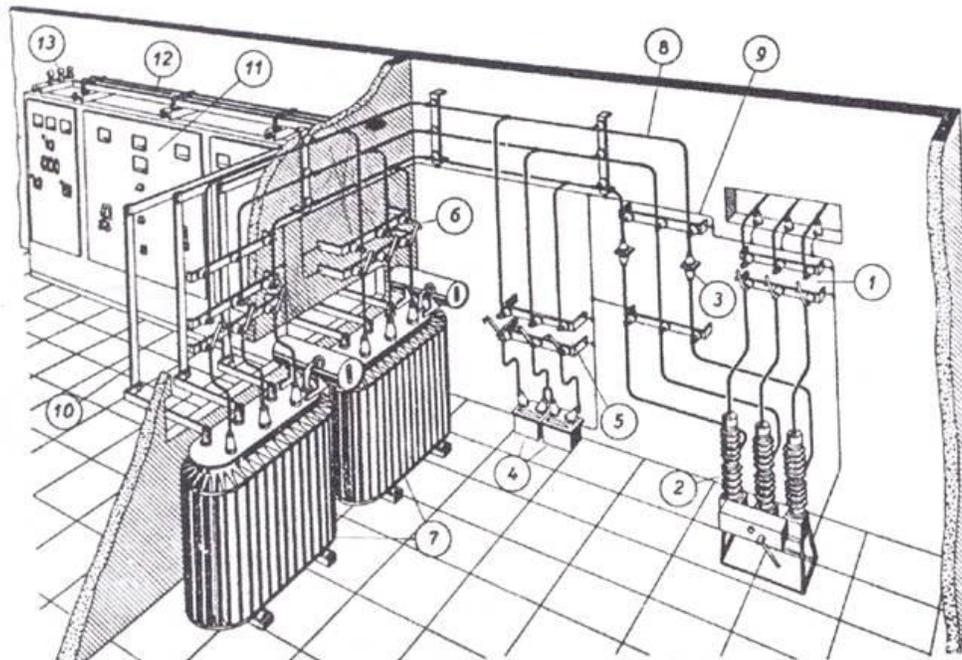


Fig. 5.1 - Elementos de una subestación eléctrica de media tensión³⁴

1. **Cuchillas desconectoras.**
2. Interruptor.
3. Transformadores de Corriente (TC).
4. Transformadores de Potencia (TP).
5. Cuchillas desconectoras para sistema de medición.
6. Cuchillas desconectoras de los transformadores de potencia.
7. Transformadores de potencia.
8. Barras de conexión.
9. Aisladores soporte.
10. Conexión a tierra.
11. Tablero de control y medición.
12. Barras del tablero.
13. Sujeción del tablero.

³⁴ Gilberto Enríquez Harper / Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas / pág. 44

5.2.1 Diagrama Unifilar Simplificado de una Subestación Eléctrica

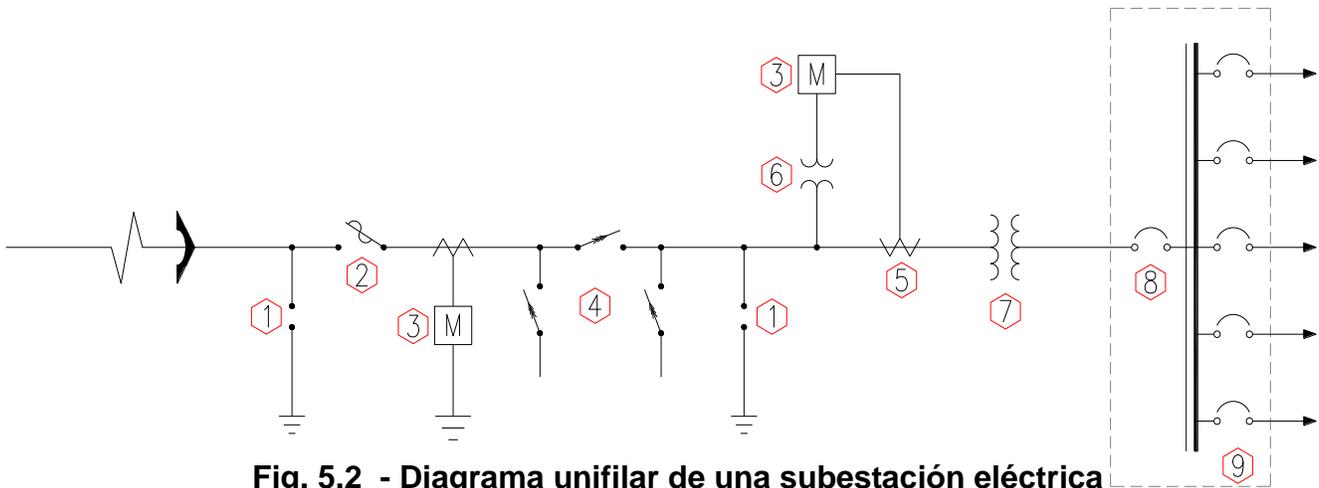


Fig. 5.2 - Diagrama unifilar de una subestación eléctrica

1. Apartarrayos.
2. Cortacircuitos fusible.
3. Equipo de Medición.
4. Cuchillas de prueba.
5. TC.
6. TP.
7. Transformador.
8. Interruptor Principal Secundario.
9. Interruptores Principales de Circuitos derivados y alimentadores.

El diagrama unifilar simplificado que se muestra en la figura 5.2, no es un caso exclusivo de alguna subestación en particular, pero nos da una idea más clara de los elementos necesarios para la conexión del servicio de suministro eléctrico en media tensión. Los principales elementos constitutivos se describen en los siguientes apartados.

5.2.2 Apartarrayos y cortacircuitos fusible

Este equipo es proporcionado en la mayoría de los casos por la compañía suministradora de energía eléctrica en el punto de alimentación, su ubicación depende del voltaje de alimentación de la carga, de la distancia a la red suministradora, entre otras.



Fig. 5.3 - apartarrayos

El apartarrayos.- se denomina así a los dispositivos destinados a absorber las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que en otro caso, se descargarían sobre aisladores, perforando el aislamiento y ocasionando interrupciones en el suministro eléctrico y en muchos casos, desperfectos en algunos elementos de protección o en el equipo eléctrico.

En la figura 5.3 se muestra un apartarrayos de voltaje para servicio en exterior que comúnmente se instalan en las subestaciones tipo poste ó en una transición aéreo-subterránea.

En los sistemas eléctricos los apartarrayos se hallan permanentemente conectados entre la línea y tierra, éste dispositivo debe estar ajustado para operar antes de que el valor de la sobretensión alcance los valores de tensión de aislamiento de los elementos a proteger pero nunca para los valores de tensión normales (esto se conoce como coordinación de aislamiento).

En un principio el uso de los apartarrayos se limitó a eliminar las sobretensiones de origen atmosférico, de ahí su nombre de apartarrayos. Posteriormente se ampliaron sus funciones para usarse en otro tipo de sobretensiones, como las de origen interno, por lo que su nombre debería de ser descargadores de sobretensiones.

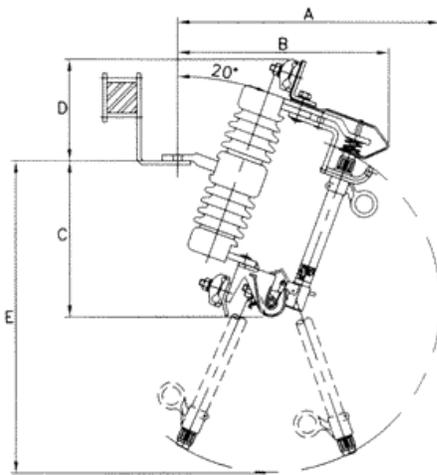


Fig. 5.4 Cortacircuitos

El cortacircuitos fusible ³⁵ es un elemento de protección y de desconexión (figura 5.4), en algunas ocasiones se reemplaza por otro equipo como restauradores, dependiendo de la importancia de la red, nivel de falla, criterios de operación y protección, etc. Los cortacircuitos más utilizados son de dos tipos, siendo su diferencia principal la forma de eliminar el arco de energía que se produce en la falla del sistema. De esta forma se tienen los fusibles de alto poder de ruptura y los cortacircuitos de expulsión.

Fusibles de alto poder de ruptura (A.P.R.).- También denominados fusibles de ruptura rápida, tienen como característica principal la rapidez de intervención ante un cortocircuito, impidiendo que el valor de corriente producido llegue al nivel de cresta que se alcanzaría, en su ausencia, en el circuito. Son por tanto limitadores de corriente.

La extrema velocidad de corte se logra repartiendo la corriente que atraviesa el fusible entre varios hilos conductores de pequeña sección, dispuestos en paralelo, que están contruidos de plata. Aparte de tener unas excelentes cualidades eléctricas, la plata no se oxida a altas temperaturas como el cobre, con lo que no se pierde sección útil, permitiendo asegurar un mejor calibrado y eliminando de esta forma un corte no deseado.

Los fusibles A.P.R. se utilizan como elementos de protección de baterías de condensadores, motores, líneas aéreas de M.T. y transformadores de M.T. siempre en instalaciones de poca potencia.

Cortacircuitos de expulsión.- Están contruidos por un tubo protector en cuyo interior está dispuesto el elemento fusible, y unido a él la trencilla de conexión. En

³⁵ <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/EquipoElectrico.pdf>

el momento de producirse el arco, la generación consiguiente de gases provoca la expulsión de la trencilla con el posterior alargamiento y soplado del arco, que provoca su extinción.

Los elementos más importantes de los cortacircuitos de expulsión (Figura 5.5) son:



Fig. 5.5
Cortacircuitos de expulsión

El tubo protector construido de papel barnizado el cual lleva un recubrimiento interno especial, que favorece la extinción del arco.

El elemento fusible que está fabricado en plata, lo que le confiere una gran exactitud en el calibrado y unas excelentes propiedades contra la corrosión, y gracias a la gran conductividad, permite una configuración helicoidal del elemento, con lo que se consigue minimizar el efecto corona.

Trencilla de conexión que generalmente está construida en cobre el cual debe tener la sección suficiente para evitar calentamientos no deseados por el paso de la corriente nominal.

La expulsión de gases en estos dispositivos hace que se utilicen exclusivamente en instalaciones exteriores. Su ámbito de aplicación se encuentra reducido a tensiones de hasta 36 KV., y se utilizan para la protección de transformadores sobre poste, baterías de condensadores y derivaciones de línea aérea a subterránea.

Para protección de transformadores o de líneas, los elementos fusibles están situados en el interior de un tubo portafusible, el cual está colocado sobre un soporte, debidamente aislado de masa. La base portafusible en su interior está

revestida por un material que ayuda a enfriar y eliminar el arco. Exteriormente están confeccionados de fibra de vidrio, lo que le proporciona una alta resistencia mecánica.

En el momento de producirse la fusión, la base portafusible se suelta de la conexión superior, dejando de esta forma una apertura visible del circuito. La fusión del cartucho se hace visible mediante un percutor de señalización, el cual sale al exterior al actuar el fusible.

Para reponer el fusible basta con descolgar esta base de la bisagra inferior y cambiar el elemento fusible interior.

5.2.3 Los conductores de media tensión

Existe una gran diversidad de proyectos que llegan a concretarse en la obra, y en todos ellos existe algo en común, y es el hecho de que para todas las obras nuevas e incluso las remodelaciones, requieren de un punto de acometida donde la compañía que suministra el servicio eléctrico las conecte e instale su equipo de medición, bajo sus normas y lineamientos.

La función primordial de los conductores eléctricos es transmitir eficientemente la energía eléctrica. Esto puede asegurarse mediante el control de calidad de los cables, a través de las pruebas que se realizan en los laboratorios de los fabricantes que garantiza su confiabilidad durante la operación y con ello la continuidad del servicio.

Por otra parte, es muy importante en el diseño de las instalaciones eléctricas tomar en cuenta que la corriente máxima que pueden transportar los conductores eléctricos, en cada condición de operación debe ser **menor o igual** a la capacidad de conducción de corriente del conductor, la cual se determina mediante los cálculos basados en métodos de ingeniería reconocidos para tal fin, tomando en cuenta las temperaturas máximas de operación.

a) Tensión máxima de operación

La tensión máxima de operación entre fases puede exceder la tensión nominal entre fases de los cables (la cual es de 5 kV, 15 kV, 25 kV o 35 kV, según sea el caso), en 5% durante la operación continua del cable o en 10% en emergencias de una duración no mayor a 15 minutos.

b) Aspectos importantes relacionados con la seguridad que deben tomarse en cuenta:

- La pantalla metálica de los cables debe ser considerada como conductor de baja tensión, es decir que puede haber tensión y/o corriente presentes en ellas.
- Antes de instalar cables en ductos, se debe verificar por medio de cálculos basados en métodos de ingeniería reconocidos para tal fin, que las tensiones máximas de jalado y las presiones laterales máximas, que soportan los cables no van hacer excedidas durante la instalación.
- Los valores de tensión máxima de jalado y presión lateral máximas serán proporcionadas a la compañía suministradora ó por el fabricante de los cables.
- En caso en que los cables vayan a operar con las pantallas metálicas aterrizadas en un punto, o empleando algún método especial, se debe de verificar la tensión inducida en las pantallas en el extremo contrario al punto de aterrizaje no exceda de 55Vca en condiciones de operación normal.
- Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta es el aterrizaje de las pantallas metálicas de los cables, ya que la capacidad de conducción de corriente de los cables depende de ello.

c) Los conductores XLP

Los conductores tipo XLP son utilizados especialmente para la conexión del suministro eléctrico en media tensión desde los elementos de protección (los cortacircuitos fusible) de la compañía suministradora, hasta los elementos de protección dentro de la subestación eléctrica compacta, mediante una transición aéreo-subterránea, ver figura 5.5.

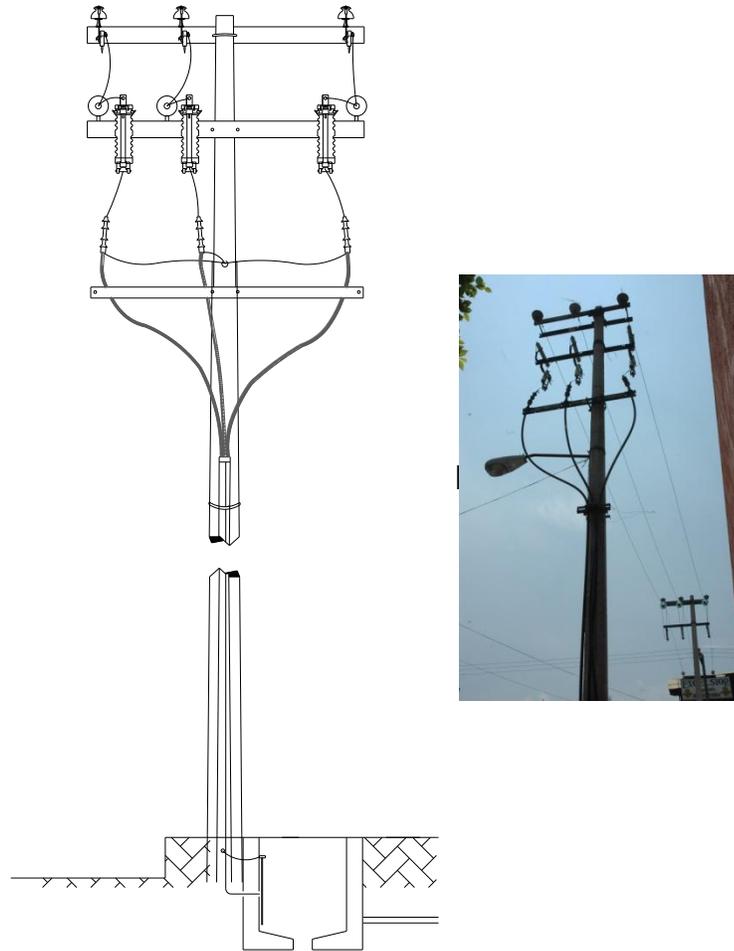


Fig. 5.5 Transición Aereo-subterránea

Esta conexión se realiza a través de un monoconductor formado por un conductor de cobre suave o aluminio duro 1 350, pantalla semiconductor sobre el conductor, aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE), pantalla sobre el aislamiento extruida, pantalla metálica a base de alambres de cobre y cubierta de policloruro de vinilo (PVC).

En la figura 5.6 se muestra un ejemplo del conductor tipo XLP, para media tensión.



Fig. 5.6 – Conductor XLP para Media Tensión

d) *Propiedades de los conductores XLP*

Alta confiabilidad

- Alta rigidez dieléctrica
- Baja emisión de gases corrosivos
- Baja emisión de gases tóxicos
- Baja emisión de humos densos
- Baja emisión de humos oscuros
- Despreciable generación de gas ácido halogenado
- Excelente resistencia a altas temperaturas
- Excelente resistencia a la contaminación atmosférica
- Excelente resistencia a la humedad
- Excelente resistencia a la intemperie
- Excelente resistencia a la propagación de la flama
- Excelente resistencia a la propagación de la flama en charola vertical
- Excelente resistencia a la tensión mecánica
- Excelente resistencia a los rayos solares
- Excelente resistencia al calor
- Seguridad al personal
- Triple extrusión real y curado en seco

e) *Aplicaciones de los conductores XLP*

Alimentación y distribución primaria de energía eléctrica en plantas industriales en general. Redes subterráneas de distribución primaria en zonas comerciales donde la densidad de carga es muy elevada. Redes de distribución primaria en zonas

residenciales. En la alimentación y distribución de energía eléctrica en edificios con subestaciones localizadas en varios niveles.

5.2.4 Subestaciones eléctricas compactas

Existe una gran variedad de arreglos en subestaciones eléctricas compactas, y ya sea que su utilización sea de forma exterior o interior, las diferentes configuraciones dependen del servicio que proporcionan, el tamaño de la subestación o su capacidad, y el nivel de protección que requerirá la carga.

Estos arreglos se logran debido a que las subestaciones compactas son modulares y cada modulo ó celda, tiene una función específica dentro del sistema eléctrico. A continuación se muestra en la figura 5.7, los dibujos esquemáticos de los arreglos típicos para subestaciones compactas de 23 kV, estos arreglos se conforman con la combinación de las principales celdas de las subestaciones compactas.

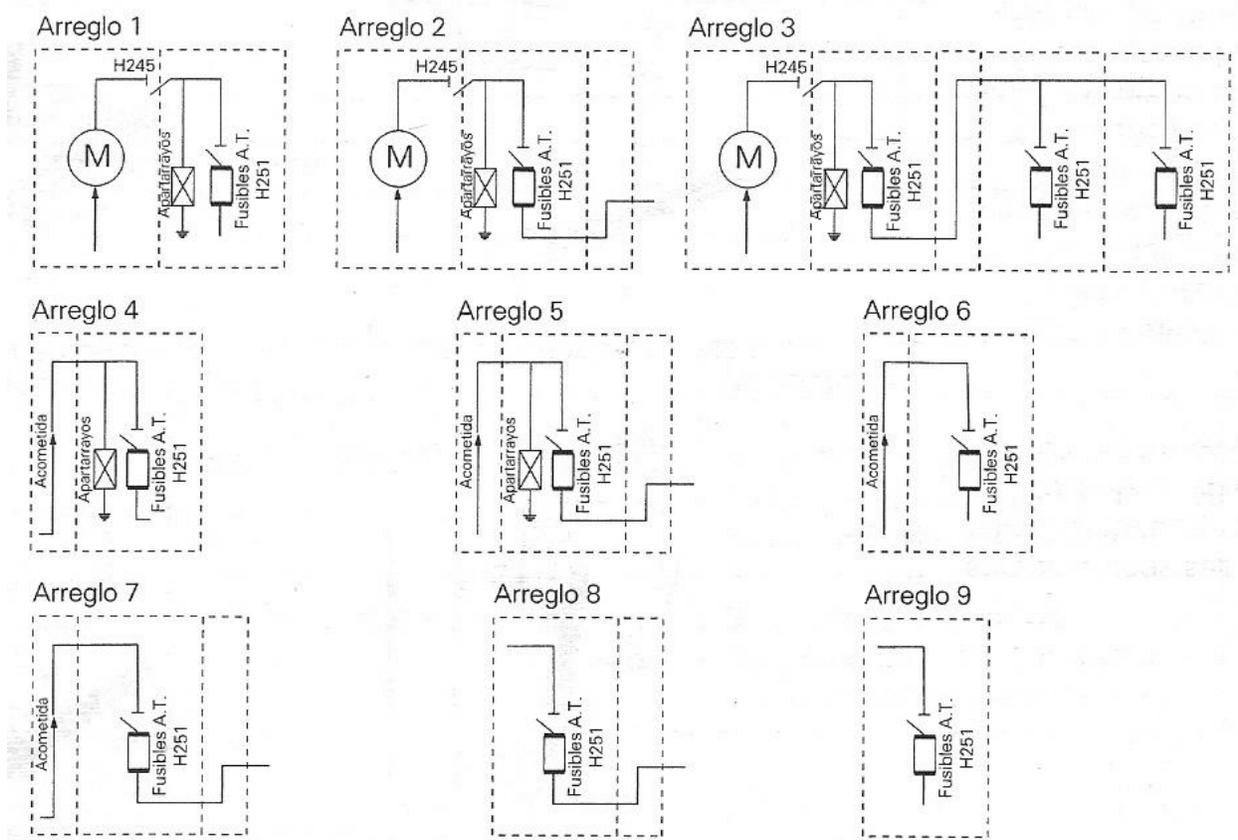


Fig. 5.7 - arreglos típicos para subestaciones compactas de 23 kV

Los equipos componentes de los arreglos de la Fig. 5.7, son los siguientes:

Arreglo 1.- Celda de medición, cuchilla de paso, seccionador con apartarrayos y placas terminales.

Arreglo 2.- Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.

Arreglo 3.- Celda de medición, cuchilla de paso entre celdas, celda de seccionador con apartarrayos, celda de transición, 2 celdas de seccionador derivado sin apartarrayos y tapas laterales.

Arreglo 4.- Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos y tapas laterales.

Arreglo 5.- Celda de acometida, celda de seccionador con apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.

Arreglo 6.- Celda de acometida, celda de seccionador sin apartarrayos y tapas laterales.

Arreglo 7.- Celda de acometida, celda de seccionador sin apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.

Arreglo 8.- Celda de seccionador sin apartarrayos, celda de acoplamiento y tapas laterales.

Arreglo 9.- Celda de seccionador sin apartarrayos y tapas laterales.

Las celdas son esencialmente tres principales con sus variantes:

- **Celda de medición** (cuchilla intermedia). El cual consta de un gabinete destinado al equipo de medición de la compañía suministradora, con el espacio adecuado según las normas de la Comisión Federal de Electricidad, para alojar sin problemas el equipo de medición.
- **Celda de seccionador con apartarrayos.** En esta celda se aloja el seccionador tripolar para la conexión y desconexión de la carga, con la capacidad adecuada según la tensión de operación de la línea, que en este caso será de 23kV con un seccionador para una red de hasta 23kV e

intensidad nominal de hasta 630 amperes, la finalidad principal de protección contra corto circuito se logra a través de fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva del seccionador. Los fusibles de alta tensión al fundirse uno de ellos, acciona un mecanismo (percutor) que desconecta automáticamente a las tres fases.

La conexión y desconexión a voluntad para el seccionador se realiza en forma manual por medio de una palanca desde el exterior frontal de la celda. En la parte posterior del seccionador se encuentran instalados los 3 apartarrayos autovalvulares.

- **Celda de acoplamiento** (también de acometida con cuchilla intermedia). Esta es una celda de transición entre la subestación y el transformador. Contiene en su interior las soleras de cobre necesarias para el acoplamiento o conexión, apoyadas en aisladores de resina sintética de acuerdo a la tensión de operación. También esta celda es ocupada como acometida de la compañía suministradora, puesto que la cuchilla intermedia tiene la preparación para ello.

Las cuchillas intermedias de las celdas de medición o acometida son tripolares de operación en grupo y desconexión sin carga. La capacidad nominal de corriente es hasta 400 amperes y la tensión de operación es de hasta 23kV. La operación de estas cuchillas se ejecuta por medio de una palanca exterior que se localiza al frente superior de la celda del seccionador.

Para el caso del proyecto eléctrico del edificio del USPC, que nos ocupa en este informe, se utilizó una subestación compacta básica para 23kV, servicio interior, la cual está construida con lámina de acero rolada en frío, terminadas con pintura electrostática a base polvo epóxico, esta subestación compacta cumple como primer punto de seguridad, el presentar en su totalidad perimetral (en el frente, laterales y cubiertas superior y posterior) superficies exentas de riesgos para el personal de operación por contactos involuntarios con partes vivas portadoras de energía de alta tensión, esta subestación compacta se muestra en la fig. 5.8.

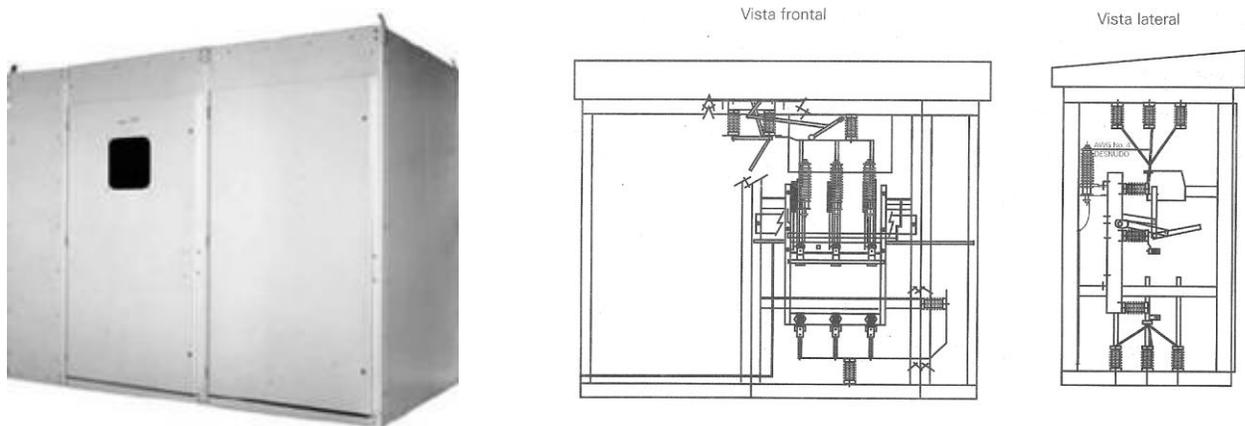


Fig. 5.8 – Subestación normalizada compacta.

La subestación compacta de la figura 5.8, corresponde al arreglo 2 de la figura 5.7, y se compone del siguiente equipo:

1. **Celda de medición.** Es la celda destinada al equipo de medición de la compañía suministradora.
2. **Cuchilla de paso.** La operación de esta cuchilla se efectúa por medio de palanca desde el interior, un bloqueo mecánico impide la apertura, si antes no se desconecta el seccionador.
3. **Barras colectoras trifásicas** de cobre de 25.4 x 6.35 mm sobre aisladores.
4. **Protección contra sobretensiones.** En la parte posterior del seccionador se hayan instalados 3 apartarrayos autovalvulares de fabricación nacional.
5. **Seccionador de carga tripolar** (figura 5.9). para conexión y desconexión con carga, tensión de operación en 23kV. La conexión y desconexión del seccionador se realiza manualmente por medio de palanca y desde el exterior frontal del tablero.
6. **Protección contra cortocircuito**, la cual se logra a través de fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva (hasta 1000MVA), estos se hallan instalados en la parte inferior del seccionador. Al fundirse alguno de ellos

acciona un mecanismo que desconecta automáticamente las tres fases, evitando la operación de una o dos fases del transformador.

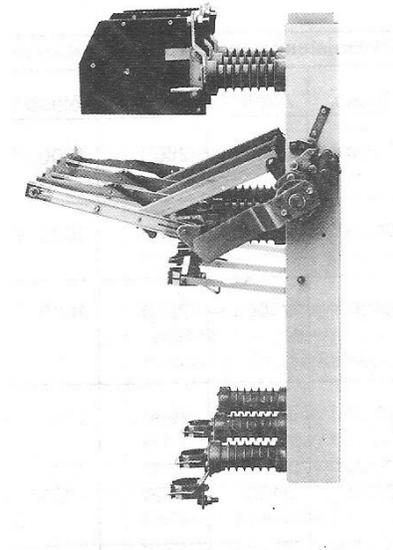
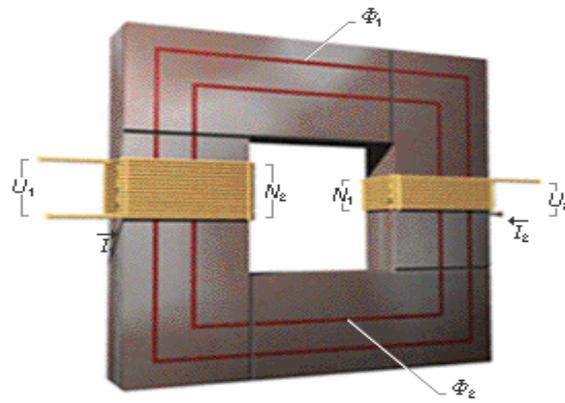


Fig. 5.9 - Seccionador de carga tripolar.

5.2.5 El transformador

El transformador, es la parte más importante de una subestación eléctrica, consta de un embobinado de cable que se utiliza para unir a dos o más circuitos, aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas.

La bobina conectada a la fuente de energía se llama bobina primaria, las demás bobinas reciben el nombre de bobinas secundarias, ver figura 5.10 Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador, si por el contrario, el voltaje secundario es inferior al primario este dispositivo recibe el nombre de transformador reductor.



N = número de espiras I = intensidad de corriente
 U = voltaje Φ = flujo magnético

Fig. 5.10 – Devanados de un transformador

El elemento principal de una subestación eléctrica es el transformador, que funciona con el principio de inducción, a través de una serie de bobinados, que permiten controlar el voltaje de salida.

Los transformadores desde el punto de vista del medio refrigerante se pueden dividir en dos grupos:

- a) Transformadores con aislamiento en seco
- b) Transformadores con aislamiento en aceite

a) Transformadores en seco

Estos transformadores tienen su parte activa en contacto directo con un medio aislante gaseoso (por lo general aire) o bien con algún medio aislante sólido como por ejemplo resinas, materiales plásticos, etc. Los transformadores del tipo seco por lo general se fabrican para potencias de hasta algunos KVA y con tensiones que normalmente no exceden de 15 KV.

Algunas de las características principales de los transformadores del tipo seco son:

- Con enfriamiento por aire natural
- Con circulación forzada del aire en el exterior por medio de ventiladores
- Con circulación forzada de aire en el núcleo y los devanados.



Fig. 5.11 – Transformadores en seco

Existen diversos tipos de Transformadores secos de baja tensión para aplicaciones en uso interior y uso exterior como se muestra en la figura 5.11, estos pueden tener las siguientes características específicas para su selección:

- **Transformadores de propósitos generales.-** Diseñados para alimentar cargas como motores eléctricos, calefacción y aplicaciones de iluminación.
- **Transformadores Ahorradores de energía.-** este tipo de transformadores ofrece como característica un bajo incremento de temperatura para el ahorro de energía y prolongar su vida útil.
- **Transformadores tipo K, para cargas no lineales.-** diseñados con un factor K para soportar el calentamiento y las altas corrientes en el neutro asociadas con equipo de computo y otras cargas monofásicas electrónicas.
- **Transformadores de aislamiento para drives.-** diseñados para soportar las rigurosas demandas de un drive para motores de ca o cd.
- **Transformadores no ventilados.-** para uso en ambientes contaminados o con mucho polvo en tipo interior o en tipo exterior.
- **Transformadores tipo abierto.-** de diseño compacto ahorra espacio en aplicaciones de uso general disponible en tipo monofásico y trifásico.

b) Transformadores en aceite

Estos transformadores mostrados en la figura 5.12, tienen su parte activa sumergida en aceite mineral (derivados del petróleo) por lo que en este tipo de transformadores no se tienen limitaciones ni en potencia ni en las tensiones y es por eso común encontrar transformadores de 400 MVA y con tensiones de 500 KV y en algunos casos con valores de potencia y tensión aun mayores.



Fig. 5.12 – Transformadores de potencia en aceite

Otras de las características principales de los transformadores en aceite son:

- Circulación natural del aceite y del aire (tipo OA)
- Circulación natural del aceite y aire auxiliado por circulación forzada del aire con ventiladores en los tubos radiadores.
- Circulación forzada del aceite y circulación natural del aire
- Circulación forzada del aceite y circulación forzada del aire
- Circulación forzada del aceite y circulación forzada del agua por medios externos
- Circulación forzada del agua

Un aspecto importante a considerar con respecto al medio de enfriamiento de los transformadores es que la disipación de calor por convección disminuye con la altitud.

5.2.5.1 Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia cumplen con la función más importante en el sistemas eléctrico dentro de la subestación eléctrica, ya que tienen la tarea de transformar el voltaje del sistema de nivel nominal (distribución) a otro (consumo), y deben de ser capaces de transportar el flujo de potencia en forma continua hacia una parte particular del sistema o hacia la carga.

El transformador de potencia dentro de la subestación eléctrica, es el equipo más grande, pesado, complejo y también más costoso de los equipos usados en una subestación eléctrica.

5.2.5.2 Tipos de transformadores

Los transformadores de potencia pueden ser autotransformadores o transformadores convencionales de varios devanados. Una instalación trifásica puede consistir de tres unidades monofásicas formando un banco trifásico o una sola unidad trifásica. La decisión de qué tipo de transformador usar depende de factores como: el costo inicial, los costos de operación, la confiabilidad, etc. Las unidades trifásicas tienen por lo general mayor eficiencia, menor tamaño y costo iniciales menores, por lo tanto son más económicas.

Los autotransformadores se consideran primero, debido a sus ventajas de costo, siempre y cuando la relación de transformación no exceda a 3/1, más allá de esta relación, desaparece la ventaja de costo de los autotransformadores.

Otras ventajas de los autotransformadores son: menor tamaño físico, menor peso, menor regulación, corrientes de excitación más bajas y menores pérdidas.

Las principales desventajas de los autotransformadores son: menor impedancia, diseño más complejo y su efecto adverso a la protección o tierra por relevadores.

5.2.5.3 Características generales de los transformadores y autotransformadores

La tensión nominal. Para un transformador es la que se refiere a sus características de operación y funcionamiento.

La tensión nominal de un devanado. Es la tensión que debe ser aplicada o inducida en vacío, entre las terminales de un transformador.

Relación de transformación y su tolerancia. La relación de transformación esta basada en la relación de las tensiones y sujeta al efecto de la regulación a diferentes cargas y factores de potencia. La tolerancia para la relación de transformación, medida cuando el transformador esta sin carga, debe ser de $\pm 0.5\%$ en todas las derivaciones. Si la tensión por vuelta excede de 0.5% de la tensión deseada, las tensiones de las derivaciones deben corresponder a la tensión de la vuelta próxima.

Impedancia nominal. La impedancia se expresa generalmente en porcentaje de la tensión de impedancia (caída de voltaje) con respecto a la tensión nominal.

La tolerancia de la impedancia deberá ser la siguiente:

- a) La impedancia de un transformador de 2 devanados con un valor en porcentaje de impedancia superior al 2.5% . debe tener una tolerancia de $\pm 7.5\%$ del valor especificado. Cuando se especifiquen transformadores de dos devanados con un valor en porcentaje de impedancia menor a 2.5% , deben tener una tolerancia de $\pm 10\%$ del valor especificado.
- b) La impedancia de un transformador de 3 o más devanados, o bien, con devanados en zigzag, debe tener una tolerancia de $\pm 10\%$ del valor especificado.
- c) La tolerancia en la impedancia de un autotransformador debe ser $\pm 10\%$ del valor especificado.

5.2.5.4 Conexiones principales

- **Conexión estrella-estrella**

Esta conexión da un servicio satisfactorio si la carga trifásica es balanceada; si la carga es desbalanceada, el neutro eléctrico tiende a ser desplazado del punto central, haciendo diferentes los voltajes de línea a neutro; esta desventaja puede ser eliminada conectando a tierra el neutro. La ventaja de este sistema de conexiones es que el aislamiento soporta únicamente el voltaje de línea a tierra, que es 58% del voltaje entre líneas.

- **Conexión delta-delta**

Este arreglo es usado generalmente en sistemas donde los voltajes no son muy altos y cuando la continuidad del servicio debe ser mantenida aun si uno de los transformadores falla; si esto sucede, los transformadores pueden continuar operando en conexión delta-abierta, también llamada “conexión V”. Con esta conexión no se presentan problemas con cargas desbalanceadas, pues prácticamente los voltajes permanecen iguales, independientemente del grado de desbalance de la carga.

- **Conexión delta-estrella**

Esta conexión se emplea usualmente para elevar el voltaje, como por ejemplo al principio de un sistema de transmisión de alta tensión. En el lado de alta tensión, el aislamiento trabaja a solamente el 58% del voltaje de línea a línea; otra de sus ventajas es que el punto neutro es estable y no flota cuando la carga es desbalanceada. Esta conexión también es muy usada cuando los transformadores deben suministrar carga trifásica y carga monofásica; en estos casos, la conexión proporciona un cuarto hilo conectado al neutro.

Preferentemente, las conexiones en transformadores trifásicos de dos devanados son delta en el primario y estrella en el secundario; el secundario en estrella, con neutro a través de una boquilla, proporciona un punto conveniente para establecer una tierra en el sistema; el primario conectado en delta aísla los 2 sistemas en cuanto al flujo de corriente de secuencia cero, que resultan de fallas a tierra en el secundario.

5.2.6 La Planta de Emergencia

En el edificio del USPC, por ser un edificio de oficinas del tipo gubernamental, se requería de un soporte de energía que fuera capaz de suministrar el 100% de la energía en los cortes de energía del servicio normal, los cuales son muy frecuentes en la zona.

La planta de emergencia por lo tanto debe ser capaz de suministrar la energía eléctrica necesaria para el 100% de la carga de USPC, ver la fig. 5.13

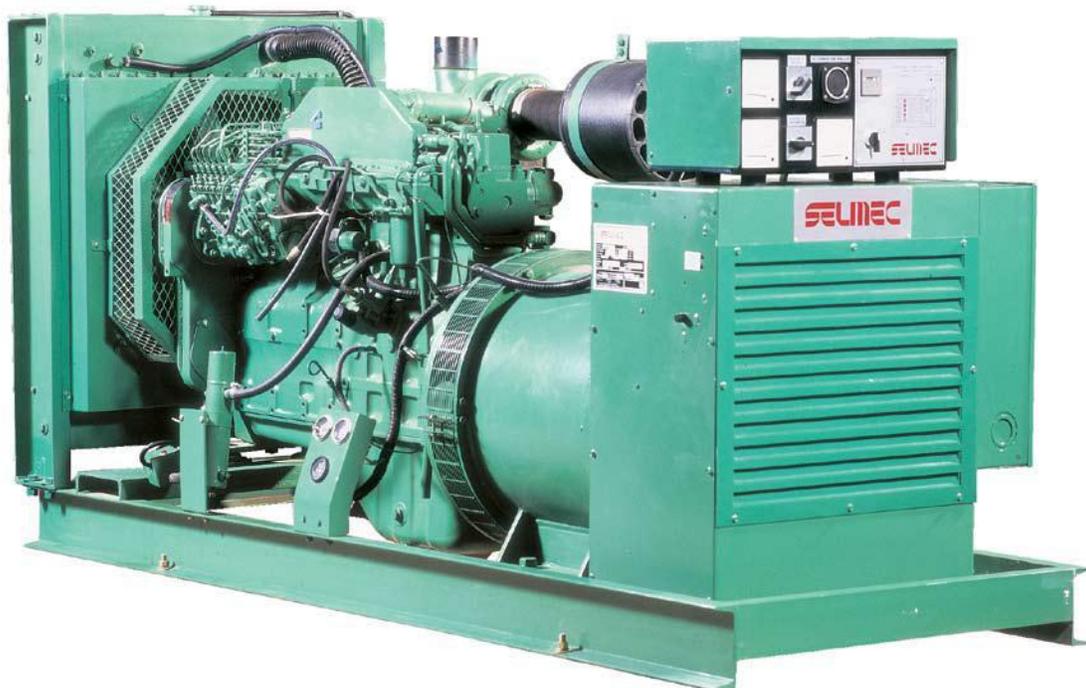


Fig. 5.13 - Planta de Emergencia

La Instalación Típica de una planta de emergencia con todos sus componentes, como la utilizada en el edificio del UPSC, se muestra en la figura 5.14.

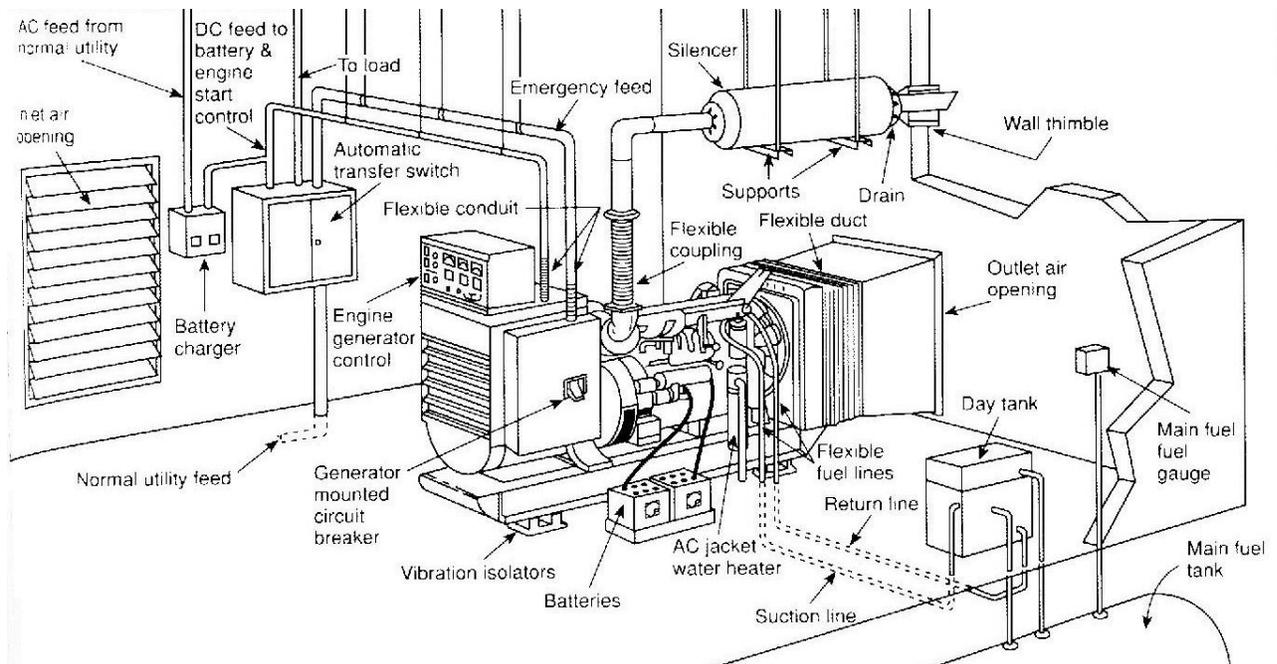


Fig. 5.14 – Instalación Típica de una planta de emergencia

5.2.6.1 Especificación de la planta de emergencia en el UPSC.

Planta eléctrica de emergencia de operación en Automático, combustible Diesel, la cual se describe como sigue:

- Potencia en emergencia: 400 kW
- Potencia continua: 360 kW
- Tensión de operación: 220 / 127 Volts
- Fases: 3
- Hilos: 4
- Frecuencia: 60 c.p.s.
- Factor de potencia: 0.8
- Interruptor de Protección: 3x1200 Amp
- Velocidad Angular: 1,800 r.p.m.

La planta de emergencia para proporcionar el servicio de generación de energía eléctrica; requiere de un paquete básico de accesorios indispensables, como son:

- Silenciadores críticos de 5"

- Tubos flexibles de 5"
- Acumuladores de 12Vcc de 27 celdas
- Cable para baterías y cable puente para baterías
- Tanque de combustible
- Vibroaisladores

5.2.7 El Equipo de Transferencia

Se debe dar mayor atención a los interruptores de transferencia debido a que la capacidad de corriente de falla y normal de diseño de los interruptores, es una parte muy importante en la aplicación de proyectos de protección, en virtud de que deben ser capaces de cerrar con altas corrientes de plena carga.

En la aplicación de la protección es necesario consultar a los fabricantes sobre los métodos de prueba aplicados a los interruptores de transferencia, fusibles e interruptores termomagnéticos. La coordinación de aparatos de protección de protección debe hacerse con capacidades de corrientes en amperes RMS simétricos.

Si un fusible o un interruptor van a ser empleados, la relación X/R de la corriente de prueba puede ser un gran auxiliar para determinar mejor protección. La relación X/R de los circuitos determina la máxima corriente pico disponible e indirectamente los esfuerzos magnéticos que puedan ocurrir.

- **Protección con interruptores**

Usualmente se requiere un retardo de tiempo en el interruptor principal de alimentación al equipo de transferencia. Esto se obtiene mediante el empleo de interruptores electromagnéticos o termomagnéticos con características de tiempo corto que además protegen adecuadamente al equipo de transferencia, contra los daños ocasionados por la energía térmica.

La coordinación se deberá efectuar también con el interruptor general de la subestación de servicio así como con el interruptor de mayor capacidad que tenga conectada la carga del sistema de emergencia.

- **Protección con fusibles**

Los fusibles pueden interrumpir sin peligro altas corrientes de corto circuito de manera más rápida que los interruptores termomagnéticos, sin embargo una ventaja de estos últimos sobre los fusibles, es la posibilidad de operación múltiple de los polos para eliminar la operación monofásica.

La corriente pico que deja pasar el fusible y la energía $I^2 t$ que pasa a través de él debe coordinarse con las características del equipo de transferencia a fin de evitar daños que puedan destruirlo.

5.2.7.1 Especificación del tablero de transferencia

Para que la planta de emergencia pueda operar en modo “Automático” se requiere de un tablero de transferencia el cual está alojado en un gabinete NEMA-1, con puerta abatible y chapa al frente.

El tablero de transferencia cuenta con un microcontrolador que realiza las siguientes funciones:

- Monitoreo de voltaje de la alimentación normal.
- Arranque de la planta de emergencia.
- Transferencia y retransferencia de la carga.
- Monitoreo de voltaje, corriente y frecuencia.
- Monitoreo y protección de falla de generación por voltaje y frecuencia.
- Desfogue y paro de la planta de emergencia.
- Protección de la planta de emergencia por:
 - Baja presión de aceite
 - Alta temperatura
 - Sobrevelocidad

- Intentos de arranque
- Monitoreo remoto vía puerto serial RS232

Características Generales:

- **Unidad básica de transferencia con:**
 - interruptor termomagnético de 3x1200 Amp.
 - para operara a 220/127 Vca
 - En gabinete NEMA-1
- **Mediciones digitales:**
 - Corriente A, B y C
 - Frecuencia
 - Tensión de línea a línea y de línea a neutro.
 - Horas de operación
- **Métodos de operación:**
 - Fuera (ajuste)
 - Manual
 - Prueba
 - Automático
- **Características del control:**
 - Pantalla de cristal liquido alfanumérico
 - 14 indicadores de funciones, tipo led.
 - Selección de modo de operación
 - Clave de acceso de ajuste
 - Puerto de comunicación serie.

- **Indicaciones luminosas:**

- Automático
- Manual
- Prueba
- Reset
- Suministro Normal
- Suministro de emergencia
- Falla de arranque
- Falla de Alta temperatura
- Falla de baja presión de aceite
- Falla de Sobrevelocidad
- Ayuda

5.2.8 El Interruptor Principal del Secundario

Este interruptor se encuentra en el interior del tablero de baja tensión y es el que protege a los alimentadores o circuitos derivados de la instalación. Un interruptor es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad en un circuito eléctrico.

Cuando la operación de apertura o cierre se efectúa sin carga (corriente), el interruptor recibe el nombre de desconectador o cuchilla desconectadora, pero cuando esta operación se hace con carga (corriente nominal) o con corriente de corto circuito (en el caso de alguna perturbación), el interruptor recibe el nombre de Disyuntor o **Interruptor de Potencia**.

Los interruptores de potencia, en caso de apertura, deben asegurar el aislamiento eléctrico del circuito.

Existen diferentes tipos de interruptores de potencia para baja tensión, los más comunes son los interruptores termomagnéticos en caja moldeada, sin embargo con el avance de la tecnología, los equipos más modernos integran en el tablero principal interruptores con mayor capacidad interruptiva y equipos de medición que permiten un mayor control y monitoreo de los mismos desde estaciones remotas.

En el caso de USPC, el tablero principal de baja tensión, integra un sistema de monitoreo (powerlogic) en combinación con un interruptor de potencia moderno (masterpact), con el cual se puede tener el monitoreo de los diferentes parámetros

como son: kilowatts-hora, voltaje, corriente, frecuencia y desbalanceo entre fases, principalmente.

El tablero principal cuenta con un sistema llamado “**retrofit**”, el cual permitirá en un futuro actualizar el interruptor.

Los interruptores de potencia en baja tensión Masterpact se comercializaron en México principalmente entre los años 1986 a 1999, por lo que son interruptores que en su mayoría tienen entre 10 y 25 años de trabajo, por lo tanto estos interruptores son susceptibles de ser modernizados para actualizar y prolongar la vida útil de la instalación.

El retrofit directo es una solución que permite actualizar un interruptor existente Masterpact M tipo IEC de montaje removible, 3 ó 4 polos, de 800 a 3200A; por un moderno interruptor Masterpact NW tipo retrofit con la avanzada unidad de disparo Micrologic, ver la figura 5.15.



Fig. 5.15 – Utilidad del retrofit de Masterpact

Principales beneficios del retrofit directo de Masterpact M

- El menor tiempo de libranza para la actualización de un interruptor de potencia en Baja Tensión (Típicamente 30 minutos).
- Mínima inversión al compararla con la sustitución de un tablero completo.
- Mayor confiabilidad al conservar intactos los elementos fijos del tablero.

Aplicaciones típicas

- Interruptores principales en tableros generales de baja tensión.
- Interruptores alimentadores en grandes sitios industriales y comerciales

5.2.9 El Tablero Principal de Baja Tensión

El Tablero principal de baja tensión concentra la carga total del sistema eléctrico de un edificio, este tablero debe de contar con el espacio suficiente para alojar en su interior las barras alimentadoras que provienen del secundario del transformador, el interruptor de potencia de baja tensión, las barras principales de distribución en baja tensión, así como el equipo de maniobra, control, medición, señalización en baja tensión y los interruptores termomagnéticos de los circuitos derivados.

La fabricación de este tipo de tablero se realiza con lámina de acero rolado en frío, calibre 12 para la estructura y calibre 14 para tapas de cierre y puertas, terminadas con pintura epóxica color gris (ver figura 5.16).



Fig. 5.16 – Tablero principal de distribución en B.T.

Este tipo de tableros generalmente son de gran tamaño y son los llamados auto-soportados, ya que por su estructura y fabricación, no requieren ser montados en muro. El diseño y distribución de los componentes del tablero principal de distribución en baja tensión, puede variar según la marca, sin embargo la función que brindan es la misma.

5.2.9.1 Características Generales de un Tablero de Distribución en Baja Tensión:

- **Cubículo de interruptor de potencia.**

Este aloja el interruptor de potencia Masterpact, el cual puede ser el interruptor principal de la instalación o un interruptor alimentador de potencia, éste puede ser fijo o removible y con capacidades de 800 a 6300 Amp.

- **Panel de interruptores derivados.**

En esta área se ubican los interruptores derivados de montaje en grupo en paneles de distribución. Los interruptores de caja moldeada enchufables cuentan con unidades de disparo termomagnéticas de 15 a 1200Amp y electrónicas a partir del marco 600Amp hasta 1200Amp.

- **Cubículos para equipo.**

Para la instalación de equipo de medición/control y/o funciones complementarias, como lo pueden ser los supresores de transitorios Surgelogic o equipo para algún requerimiento específico.

- **Área de bus principal.**

Destinada específicamente para la ubicación de las barras principales que conforman el bus el cual se ubicado a todo lo ancho del tablero, las capacidades van desde 1600 hasta 6300 A.

- **Conexión de cables de fuerza entrada/salida**

Área específica para la entrada y salida de cables, así como conexión a las barras por medio de zapatas mecánicas (compresión como opción).

5.2.9.2 Requerimientos especiales.

- **Buses enfundados**

Para aplicaciones donde la contaminación del medio ambiente es muy alta es necesario cubrir las barras conductoras con material que proporcione mayor resistencia a los efectos corrosivos. Algunos tableros ofrecen la opción de enfundar los buses, con lo que además también se incrementa la seguridad del personal operario, al realizar mantenimientos dentro del tablero.

- **Secciones Enanas**

Donde las restricciones de espacio no permiten instalar tableros de 2,286mm (90”) de altura, existe la opción de cambiar por una sección de 1828 mm(73.5”) de altura en capacidades máximas de 2000 A.

- **Acoplamiento posteriores**

Cuando el arreglo de la subestación no permita el acoplamiento al tablero por medio de una sección de transición, se tienen arreglos de buses internos de manera que el acoplamiento al tablero pueda ser efectuado por la parte posterior.

- **Acoplamiento con Electroducto**

Para acometidas o alimentaciones a cargas especiales, se pueden suministrar las bridas para electroducto instaladas de fábrica.

En la mayoría de los tableros autosoportados, por su construcción modular, es posible hacer modificaciones de último momento, así como ampliaciones futuras para tableros ya instalados. Las secciones están formadas con una base de estructura rígida adecuada para servicio pesado, cuenta con paneles y espacios

para el montaje de los diferentes equipos, así como acceso frontal y posterior con cubiertas o puertas. Las secciones pueden combinarse para lograr cualquier configuración con interruptores fijos o removibles.

5.3 PROCEDIMIENTO PARA LA SOLICITUD DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

En toda obra nueva se requerirá el suministro de energía eléctrica casi desde el inicio de los trabajos, por tal motivo debe de tomarse en cuenta desde la planeación del proyecto de la obra en cuestión, este servicio se debe de contratar con la compañía suministradora de energía eléctrica, después de cumplir con la documentación requerida.

Esta documentación y los requisitos para la contratación del servicio están contenidos en un documento conocido como **“PROCEDIMIENTO PARA LA ATENCIÓN DE SOLICITUDES DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (PROASOL)”³⁶**, el cual tiene por objeto:

Contar con un procedimiento integral para la atención de las solicitudes de servicio de energía eléctrica que responda a las necesidades de los solicitantes, satisfaga sus expectativas y facilite los trámites requeridos para el suministro de energía eléctrica a los nuevos servicios, así, como aquellos que requieran de la ampliación o modificación de las instalaciones existentes, en alta, media o baja tensión, con un amplio sentido de eficiencia y en apego a los lineamientos aplicables de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, su Reglamento y el Reglamento en Materia de Aportaciones.

El procedimiento para la solicitud del servicio de energía eléctrica se muestra a continuación en la tabla 5.1.

• ³⁶ (PROASOL) / DIRECCIÓN DE OPERACIÓN / SUBDIRECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN / C.F.E.

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO:		
No.	RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN
1	Solicitante	¿Requiere factibilidad de Servicio? Si= Presenta Solicitud de Factibilidad y continua en actividad 2 No= Continúa proceso en actividad 4
2	Departamento de Planeación	Recibe solicitud de Factibilidad, Formula y entrega respuesta.
3	Solicitante.	¿Desea continuar el trámite para obtener el Servicio de Energía Eléctrica? Si= Continúa proceso en actividad 4 No= Finaliza el proceso.
4	Solicitante	Presenta solicitud de servicio de energía eléctrica bajo el régimen de aportaciones (formato 1), acompañado de los requisitos para obtener el servicio.
5	Departamento Comercial	Recibe y registra solicitud de servicio acompañada de los requisitos completos, de acuerdo al tipo de solicitud
6	Departamento de Planeación.	Descarga solicitudes recibidas del área Comercial y adicionalmente registra en SIAD solicitudes de servicio recibidas localmente.
7	Departamento de Planeación.	Realiza visita de campo con la información proporcionada por el solicitante y elabora estudio técnico.
8	Departamento de Planeación.	¿La demanda de la solicitud es mayor a 20 MVA? Si = Continúa proceso en actividad 9 No = Continúa proceso en actividad 13
9	Departamento de Planeación.	Integra propuesta de atención y envía al departamento de Planeación Divisional.
10	Planeación Divisional.	Revisa propuesta de atención y envía a Gerencia de Planeación para su aprobación.
11	Gerencia de Planeación.	Analiza propuesta en coordinación con el área de Programación, en su caso involucra a la Unidad de Ingeniería Especializada, se acuerda punto de suministro.
12	Gerencia de Planeación.	Informa a la División correspondiente los términos de atención de la solicitud.
13	Departamento de Planeación	Prepara presupuesto de obras en base a los términos de atención definidos y turna para su formalización.
14	Departamento de Planeación	Entrega Oficio Resolutivo al solicitante
15	Departamento de Planeación	¿Está exento de aportaciones? Si = Continúa proceso en actividad 16 No= Continúa proceso en actividad 17
16	Departamento de Planeación	¿Requiere construcción de obras? Si = Continúa proceso en actividad 19 No= Continúa proceso en actividad 22

17	Solicitante	¿Acepta presupuesto, conviene o paga aportación por obra específica? Si = Continúa proceso en paso 19 No = Continúa proceso en paso 18
18	Solicitante	¿El solicitante construye la obra específica? Si= Continua tramite de acuerdo el Procedimiento de Obras Construidas por Terceros (PROTER). No= Finaliza proceso
19	Departamento de Distribución o Construcción	Programa, ejecuta o licita las obras, de acuerdo al proyecto definido.
20	Departamento de Distribución.	Envía plano definitivo elaborado en software institucional e inventario físico valorizado al área de planeación y administración respectivamente, notifica la terminación o recepción de las obras al Departamento Comercial y Medición para su contratación y conexión.
21	Departamento de Distribución.	Energiza las obras.
22	Departamento Comercial.	Formula contrato(s) y conecta servicio(s).
23	Administración.	Capitaliza obras e incorpora al Activo Fijo.

Tabla 5.1 - Procedimiento para la solicitud del servicio de energía eléctrica

La descripción del procedimiento de la tabla 5.1, la encontramos en el punto No. 7 del documento “PROASOL” que mencioné anteriormente, y en el punto No. 8 se encuentra el diagrama de flujo que se muestra en las figuras 5.17a y 5.17b

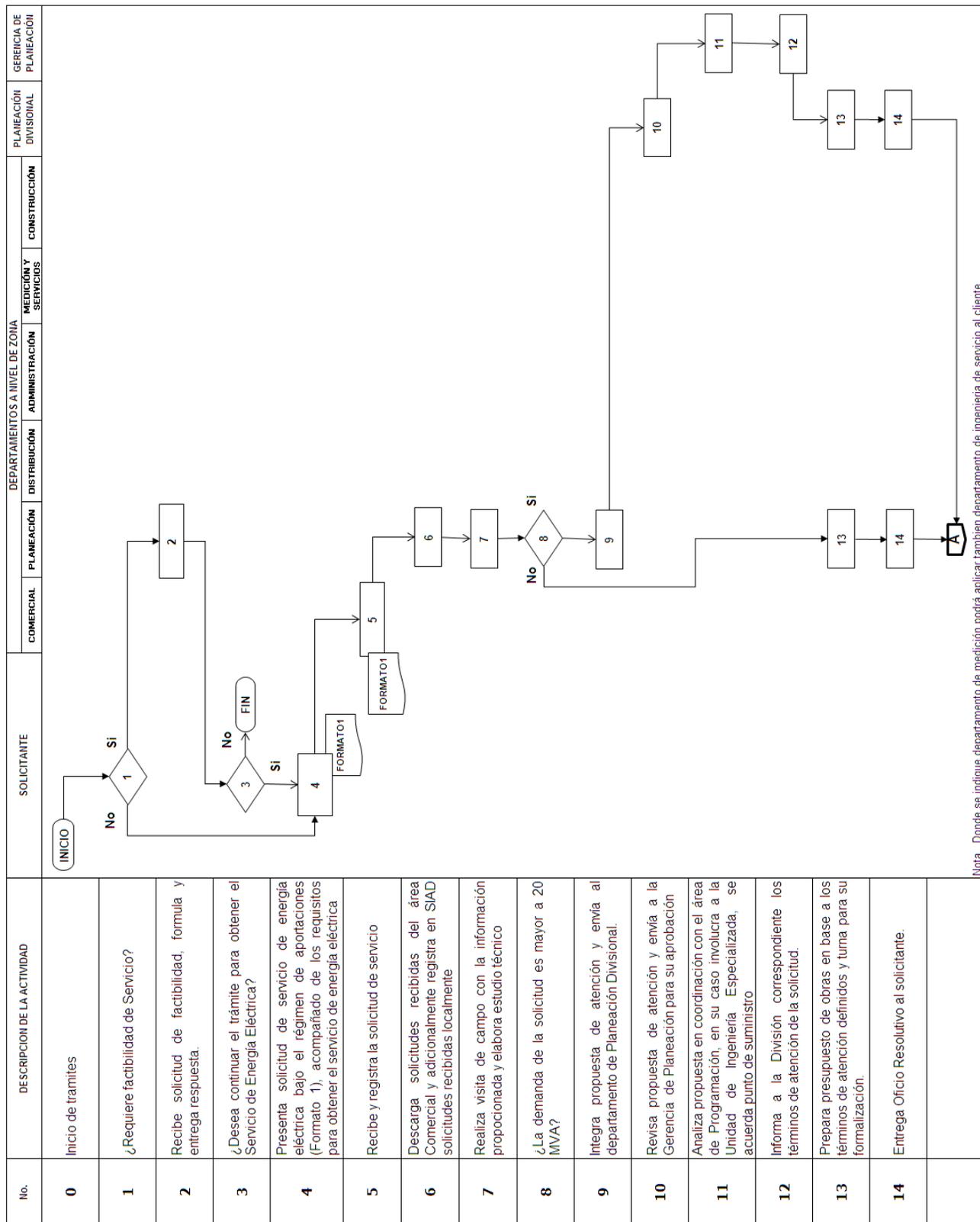


Fig. 5.17a - Diagrama de flujo del procedimiento

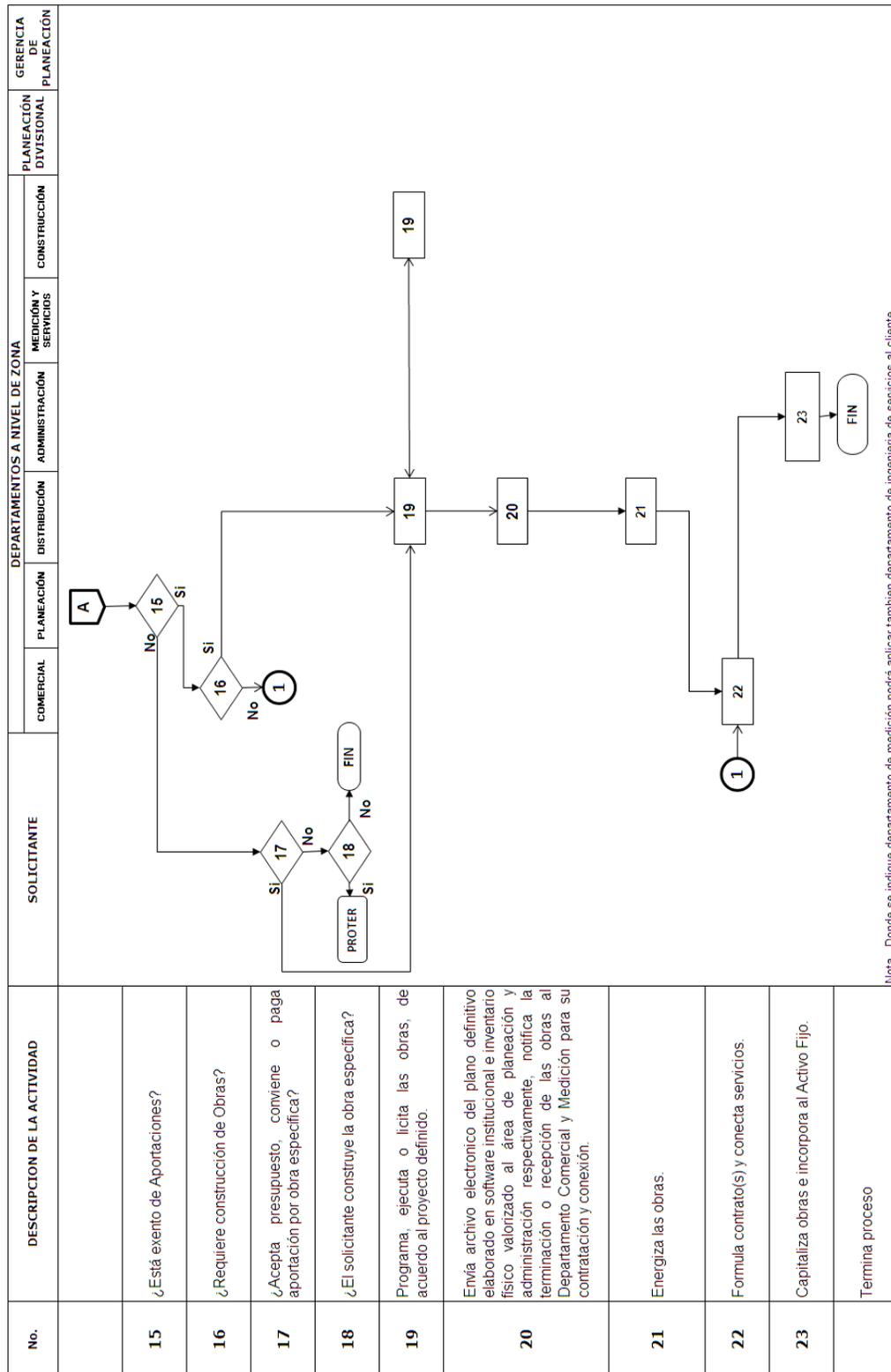


Fig. 5.17b - Diagrama de flujo del procedimiento

CAPITULO VI
“PLANOS DEL PROYECTO ELÉCTRICO”

IE-01a ALUMBRADO 1er NIVEL (USPC PC)

IE-01b ALUMBRADO 1er NIVEL (USPC TR)

IE-02a CONTACTOS NORMALES 1er NIVEL (USPC PC)

IE-02b CONTACTOS NORMALES 1er NIVEL (USPC TR)

IE-03a CONTACTOS REGULADOS 1er NIVEL (USPC PC)

IE-03b CONTACTOS REGULADOS 1er NIVEL (USPC TR)

IE-03c CONTACTOS REGULADOS PLATAFORMA MEXICO

IE-04a VOZ Y DATOS 1er NIVEL (USPC PC)

IE-04b VOZ Y DATOS 1er NIVEL (USPC TR)

IE-05a REGADERAS Y ESTUFA ELECTRICA 1er NIVEL

IE-05b REGADERAS Y ESTUFA ELECTRICA 1er NIVEL

IE-06a ALUMBRADO 2º NIVEL (USPC)

IE-06b ALUMBRADO 2º NIVEL (USPC)

IE-07a CONTACTOS NORMALES 2º NIVEL (USPC)

IE-07b CONTACTOS NORMALES 2º NIVEL (USPC)

IE-07c REGADERA EN 2º NIVEL

IE-08a CONTACTOS REGULADOS 2º NIVEL (USPC)

IE-08b CONTACTOS REGULADOS 2º NIVEL (USPC)

IE-09a VOZ Y DATOS 2º NIVEL (USPC)

IE-09b VOZ Y DATOS 2º NIVEL (USPC)

IE-10 ALUMBRADO PUENTE Y DOBLE ALTURA

IE-11 ALUMBRADO ESTACIONAMIENTO

IE-12 ALUMBRADO HELIPUERTO

IE-13 ALIMENTADORES GENERALES

IE-14 1er NIVEL ALIMENTADORES

IE-15 2° NIVEL ALIMENTADORES

IE-16 SUBESTACION ELECTRICA (ARREGLO DE EQUIPO)

IE-17 SISTEMA DE TIERRAS DE LA SUBESTACION

IE-18 SISTEMA DE TIERRAS Y PARARRAYOS

IE-19 CUADROS DE CARGAS

IE-20a DIAGRAMA UNIFILAR (PRIMERA OPCION)

IE-20b DIAGRAMA UNIFILAR (SEGUNDA OPCION)

IE-21 ALUMBRADO SIME

IE-22 CONTACTOS NORMALES SIME

IE-23 CONTACTOS REGULADOS SIME

IE-24 SALIDAS DE VOZ Y DATOS SIME

IE-25 SALIDAS DE VIDEO SIME

IE-26 SALIDAS PARA MINI SPLIT EN EL SIME

IE-27 ALUMBRADO DE FACHADAS

CONCLUSIONES

Actualmente en el diseño de las instalaciones eléctricas se deben de tomar en cuenta todos los factores de seguridad que le den a la instalación las características de seguridad, flexibilidad, confiabilidad, que tengan la facilidad de expansión, simplicidad y economía sin desatender las necesidades tecnológicas modernas, y sobretodo apegadas a las normas vigentes que las rigen.

Las instalaciones eléctricas, todo el equipo y material especificado en el proyecto eléctrico, debe apegarse a la última edición de las principales normas oficiales vigentes, entre las que destaca por su utilización la Norma Oficial Mexicana, mejor conocida como “**NOM-001-SEDE-2005**”, ésta es la principal norma que rige el desarrollo de proyectos eléctricos en México.

La **NOM-001-SEDE-2005**, a su vez esta muy apegada a las normas internacionales siguientes:

- National Fire Protection Association (NFPA)
- National Electrical Code (NEC)
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- American National Standard Institute (ANSI)

Por otra parte todos los aparatos instalados o de uso dentro de las instalaciones eléctricas deben cumplir con la **certificación UL** (Underwriters Laboratories).

Para estar a la vanguardia tecnológica, en las instalaciones eléctricas modernas, se requieren instalaciones eficientes que brinden un servicio de calidad y confiable, pero sobre todo elementos que permitan el ahorro de energía.

Hoy en día, es posible encontrar a bajo costo algunos materiales y elementos que brindan la protección necesaria y que sobretodo cumplen con los estándares para una correcta utilización dentro de la instalación eléctrica.

Por otra parte es importante incluir en el diseño de los proyectos eléctricos, elementos ahorradores de energía, ya que resultan ser la mejor opción para tener menor consumo de energía. Tal es el caso de los balastos para diferentes tipos de luminarias, que anteriormente solo se utilizaban del tipo inductivo y actualmente se están sustituyendo por balastos electrónicos que prácticamente no consumen energía, por lo tanto se aprovecha la energía eléctrica casi en su totalidad para los sistemas de alumbrado.

La innovación en cuanto a las nuevas tecnologías utilizadas en las instalaciones eléctricas, da como resultado que los precios se vean elevados, tanto de los materiales como de los elementos utilizados, tal es el caso de la tecnología Led utilizada para iluminación decorativa principalmente, con muy bajo consumo de energía comparado con los viejos sistemas de iluminación, como son las lámparas de Halógeno y las lámparas incandescentes.

Para el caso del edificio de USPC, se buscaba conservar la misma imagen del edificio existente de oficinas del Palacio Municipal, pero con un ahorro considerable de energía al implementar luminarias más modernas y de menor consumo de energía, con balastos electrónicos en lugar de los viejos balastos inductivos utilizados en el Palacio Municipal.

Al respecto, las luminarias seleccionadas en el edificio del USPC, no son las óptimas para obtener el mayor ahorro de energía, éstas fueron las luminarias que se propusieron al iniciar el proyecto y que se contemplaron el presupuesto autorizado para la obra, sin embargo se consiguió el objetivo de ahorro de energía.

En cuanto a la distribución de luminarias es importante señalar que se realizaron cálculos de iluminación en diferentes zonas de oficinas para alcanzar los niveles requeridos y se colocaron las luminarias uniformemente dentro de la retícula del plafond respetando la cantidad y espacio entre luminarias para conservar el nivel requerido.

Determinados los niveles de iluminación requeridos para las áreas de oficinas, a través de diferentes planteamientos de la distribución de las luminarias se determinó la orientación y la disposición de éstas dentro de la retícula de plafond, conservando en todo momento el número de luminarias determinado por el cálculo de iluminación.

Otra parte importante en el desarrollo del proyecto eléctrico es lo relacionado con las cargas aleatorias a través de los receptáculos o contactos del servicio normal, el cual consistió, según los criterios del diseño, en colocar un contacto por cada escritorio o espacio especificado por el proyecto arquitectónico definitivo.

En cuanto al sistema regulado la distribución de los receptáculos se hizo del mismo modo, según los criterios de diseño, es decir, en cada lugar donde se encontrará un equipo de cómputo o equipo especial de comunicaciones, nuevamente según los requerimientos del proyecto arquitectónico definitivo, el cual fue aprobado por cada dirección del servicio público en gestión.

En el caso particular de este proyecto la aprobación de la distribución del servicio eléctrico, tanto de alumbrado como de contactos normales y regulados estuvo a cargo de la Secretaría de Gobierno en gestión que al mismo tiempo realizó varios cambios en el proyecto arquitectónico, ocasionando que se tuvieron que presentar diferentes propuestas de anteproyectos para la iluminación y la distribución de contactos normales y regulados.

Pero para la realización del proyecto del USPC en particular, primero se establecieron “criterios de diseño”, los cuales están apegados principalmente a la **NOM-001-SEDE-2005**, respetando normas establecidas.

Por otra parte el Edificio del USPC es un anexo del edificio del Palacio Municipal, el cual ya contaba con un subestación eléctrica con la capacidad suficiente para alimentar a ambos edificios, (así se determinó durante el transcurso de la ejecución de la obra y la realización del proyecto eléctrico), pero con la desventaja de tener una mala interconexión de sus elementos debido a cambios realizados en administraciones pasadas.

Esta situación era desconocida tanto para la Secretaría de Gobierno como para la Dirección de Obras Públicas al inicio de la obra, que pretendían hacer el cambio de lugar de la subestación eléctrica así como el incrementar su capacidad; sin embargo debido al tiempo que se necesitaba para realizar los cambios, el costo de los equipos nuevos y el tiempo de respuesta tan largo por parte de la compañía suministradora, se determinó que la subestación se quedaría en el mismo lugar que tiene conservando los equipos que actualmente se tenían y haciendo las adecuaciones necesarias para recibir la carga del nuevo edificio, sin afectar la operación del edificio del Palacio Municipal.

Con toda esta situación que se presentó durante el desarrollo de esta obra y la realización del proyecto eléctrico del USPC, podemos concluir que para la realización de cualquier proyecto eléctrico, el que sea, siempre será necesario realizar un estudio de las características particulares del proyecto, (incluyendo datos del levantamiento), tomando en cuenta los criterios de diseño particulares y establecer los criterios de diseño específicos del proyecto siempre apegado a la normatividad vigente de la zona específica de que se trate, y cumpliendo con los estándares internacionales para la selección de los equipos y materiales que constituirán la instalación eléctrica de nuestro diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- **Sebastián Gudel José María, Domínguez Pedro González**, Instalaciones Eléctricas del Interior, Ed. Marcombo, Barcelona, 2005.
- **Foley Joseph H.**, Fundamentos de Instalaciones Eléctricas, Ed. Mc. Graw Hill, México D.F., 1983.
- **Vittorio Re**, Iluminación Interna, Ed. Marcombo, Barcelona, 1979.
- **Vittorio Re**, Instalaciones de puesta a tierra, Ed. Marcombo, Barcelona, 1979
- **Luis C. Fernández Salazar, Jaime De Landa Amezcua**, Técnicas y Aplicaciones de la Iluminación, Mc Graw Hill, México, 1992
- **Gilberto Enríquez Harper**, Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas, Ed. Limusa, México, 1980
- **Gilberto Enríquez Harper**, El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales, Ed. Limusa, México, 2001
- **Ing. Becerril L. Diego Onésimo**, Instalaciones Eléctricas Practicas, Instituto Politécnico Nacional, México, 1985
- **Gilberto Enríquez Harper**, La Calidad de la Energía en los sistemas Eléctricos, Ed. Limusa, México, 2001
- **Gilberto Enríquez Harper**, Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales, Ed. Limusa, México, 1981
- **Gilberto Enríquez Harper**, Guía Ilustrada de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE: Instalaciones Eléctricas, Ed. Limusa, México, 2007

- Procedimiento para la Atención de Solicitudes de Servicio de Energía Eléctrica (PROASOL), **Comisión Federal de Electricidad**, México, 2010
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (Utilización), **Secretaría de Energía**, México, 2005