



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES
ELÉCTRICAS DE LOS EDIFICIOS A Y B DEL CENTRO
UNIVERSITARIO METROPOLITANO DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Bagner Edelman Alvarado López.

Asesorado por el Ing. Luis Arturo Méndez Guerra.

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES
ELÉCTRICAS DE LOS EDIFICIOS A Y B DEL CENTRO
UNIVERSITARIO METROPOLITANO DE LA UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

BAGNER EDELMAN ALVARADO LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. LUIS ARTURO MÉNDEZ GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerreo de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
EXAMINADOR	Ing. Fernando Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LOS EDIFICIOS A Y B DEL CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,

tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 12 de agosto de 2005.

BAGNER EDELMAN ALVARADO LÓPEZ.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme sabiduría y fuerza de voluntad para vencer todos los obstáculos que encontré en mi camino.
Mis padres	Marco Alvarado y Carolina López, por su apoyo incondicional y esfuerzo a lo largo de estos años.
Mis hermanos	Marco y Francisco Alvarado, por su cariño y apoyo.
Mi esposa	Janeth Mérida, por compartir conmigo cada momento llenándome con sus palabras.
Mi hijo	Daniel, por ser mi inspiración a cada momento.
Mi familia en general	Por sus palabras de aliento y apoyo.
Mis amigos	Guillermo, Luis, Manolo, Carlos, Wagner y Rony, por todos los momentos compartidos.
Mi asesor	Ingeniero Luis Méndez, por su apoyo al realizar este trabajo de graduación.
Mi Universidad	Por todas las enseñanzas que llevo conmigo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI

1. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

ACTUALES	1
1.1 Instalaciones eléctricas	1
1.1.1 Caracterización de cargas	1
1.1.2 Estado actual y dimensionamiento de conductores	4
1.1.2.1 Resistencia de aislamiento	7
1.1.2.2 Prueba de aislamiento	7
1.1.2.3 Capacidad, calibres y secciones de conductores eléctricos	9
1.1.3 Protecciones para motores	11
1.1.3.1 Fusibles	11
1.1.3.2 Protecciones contra sobrecarga	12
1.1.3.3 Protecciones contra baja tensión	13
1.1.3.4 Protecciones contra pérdida de fase	13
1.1.4 Análisis de protecciones de subestaciones	14
1.1.4.1 Cortacircuitos y fusibles de distribución	14
1.1.4.2 Pararrayos	15
1.1.5 Tableros	16

1.1.5.1	Clasificación	16
1.1.5.2	Condición actual	17
1.2	Análisis de redes	18
1.2.1	Corrientes	18
1.2.2	Voltajes	20
1.2.3	Factor de potencia	22
1.2.3.1	Factor de potencia de desplazamiento	22
1.2.4	Potencia	23
1.2.4.1	Potencia activa	24
1.2.4.2	Potencia reactiva	25
1.2.4.3	Potencia aparente	26
1.2.5	Factor K	27
1.2.6	Análisis de armónicos	28
1.2.6.1	Distorsión armónica THDV y THDI	29
1.2.7	Desbalance de tensión y de corriente	32
1.3	Iluminación	33
1.3.1	Revisión visual	33
1.3.2	Medición de luxes	38
1.3.3	Textura, colores de techo, piso y paredes	38
1.3.4	Características de las luminarias	39
1.4	Instalaciones especiales	41
1.4.1	Equipo electrónico sensible	41
1.5	Motores eléctricos	42
1.5.1	Pruebas de aislamiento	42
2.	ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	45
2.1	Cálculo de iluminación	45
2.1.1	Ejemplo del cálculo de iluminación por el método de cavidad zonal	47

2.2	Cálculo de lúmenes	57
2.3	Tabulación de los cálculos realizados para los cuatro niveles de los edificios A y B del Centro Universitario Metropolitano	58
2.4	Cálculo de conductores	64
2.4.1	Ejemplo de cálculo de conductores	65
2.4.2	Cálculo de conductores principales	73
2.5	Diseño de tierras	75
2.5.1	Puesta a tierra	75
2.5.2	Resistividad del terreno	76
2.5.3	Malla de tierra	77
2.6	Cálculo de pararrayos	79
3.	DIAGRAMAS UNIFILARES	85
3.1	Diagramas unifilares de la red eléctrica general	85
3.2	Diagramas unifilares de la sub red eléctrica	88
4.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LOS EDIFICIOS	109
4.1	Comparación de los edificios A y B	109
4.1.1	Comparación de los conductores ramales	109
4.1.2	Comparación de las luminarias	109
4.1.3	Comparación de la carga	109
4.1.4	Comparación de los conductores alimentadores	111
4.1.5	Comparación de los centros de carga secundarios	111
4.1.6	Comparación de los centros de carga generales	113
4.1.7	Comparación de las protecciones para circuitos alimentadores	113

5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	115
5.1	Demanda máxima	115
5.2	Demanda media	117
5.3	Factor de carga	118
5.4	Análisis de las curvas de demanda	119
5.4.1	Curva de duración de carga	119
5.5	Factor de demanda	120
5.6	Factor de utilización	121
5.7	Estudio técnico económico de las instalaciones eléctricas	121
5.7.1	Cálculo de la inversión necesaria para la implementación del nuevo diseño	121
	Costo del estudio de ingeniería del nuevo diseño	123
5.8	Cargos de energía en facturación mensual	124
5.8.1	Generación y Transporte	124
5.8.1.1	Energía	124
5.8.1.2	Potencia máxima	125
5.8.2	Distribución	126
5.8.2.1	Cargos fijos por cliente	126
5.8.2.2	Penalización por incumplimiento a NTSD	126
5.8.2.3	Tasa municipal	126
6.	DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES	127
6.1	Cálculo de la capacidad de los transformadores	127
6.2	Ventajas y desventajas de la conexión actual	130
6.2.1	Ventajas	130
6.2.2	Desventajas	131
6.3	Propuesta para una nueva conexión del banco de Transformadores	132

7. EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE LOS EDIFICIOS A Y B DEL CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO, AL MERCADO MAYORISTA	133
7.1 Generalidades	133
7.2 Agentes del Mercado Mayorista	135
7.3 Requisitos para participar como Gran Usuario, en el Mercado Mayorista	136
CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	145
APÉNDICE A	147
APÉNDICE B	149
APÉNDICE C	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Representación de carga total edificio A	3
2	Representación de carga total edificio B	4
3	Corriente total en línea 1	19
4	Corriente total en línea 2	19
5	Corriente total en línea 3	19
6	Voltajes de fase	20
7	Factor de potencia	23
8	Potencia activa en línea 1	24
9	Potencia activa en línea 2	24
10	Potencia activa en línea 3	24
11	Potencia activa total	24
12	Potencia reactiva en línea 1	26
13	Potencia reactiva en línea 2	26
14	Potencia reactiva en línea 3	26
15	Potencia reactiva total	26
16	Potencia aparente en línea 1	27
17	Potencia aparente en línea 2	27
18	Potencia aparente en línea 3	27
19	Potencia aparente total	27
20	Factor K, para línea 1	28

21	Factor K, para línea 2	28
22	Factor K, para línea 3	28
23	Distorsión armónica total de voltaje entre línea 1 y línea 2	30
24	Distorsión armónica total de voltaje entre línea 2 y línea 3	30
25	Distorsión armónica total de voltaje entre línea 1 y línea 3	30
26	Distorsión armónica total de corriente en línea 1	31
27	Distorsión armónica total de corriente en línea 2	31
28	Distorsión armónica total de corriente en línea 3	31
29	Desbalance de tensión	32
30	Desbalance de corriente	32
31	Método de cavidades zonales	46
32	Disminución luminosa en lámparas fluorescentes	53
33	Malla de puesta a tierra	78
34	Diagrama unifilar de la red eléctrica general	86
35	Tablero secundario del primer nivel del edificio A	89
36	Subtablero del primer nivel del edificio A	90
37	Tablero secundario del segundo nivel del edificio A	91
38	Subtablero del segundo nivel del edificio A	92
39	Subtablero del centro de cómputo del segundo nivel del edificio A	93
40	Subtablero FF del segundo nivel del edificio A	94
41	Tablero secundario del tercer nivel del edificio A	95
42	Subtablero del tercer nivel del edificio A	96
43	Tablero secundario del cuarto nivel del edificio A	97
44	Subtablero del cuarto nivel del edificio A	98
45	Tablero secundario del primer nivel del edificio B	99
46	Subtablero del primer nivel del edificio B	100
47	Tablero secundario del segundo nivel del edificio B	101
48	Subtablero del segundo nivel del edificio B	102
49	Tablero secundario del tercer nivel del edificio B	103

50	Subtablero del tercer nivel del edificio B	104
51	Tablero secundario del cuarto nivel del edificio B	105
52	Subtablero del cuarto nivel del edificio B	106
53	Demanda de potencia máxima en las líneas 1, 2 y 3	115
54	Demanda de potencia máxima total	116
55	Duración de la carga	119

TABLAS

I.	Carga instalada en el edificio A	2
II.	Carga instalada en el edificio B	3
III.	Dimensionamiento de conductores para el edificio A	5
IV.	Dimensionamiento de conductores para el edificio B	5
V.	Porcentaje de carga en alimentadores del edificio A	6
VI.	Porcentaje de carga en alimentadores del edificio B	7
VII.	Medición de resistencia de aislamiento de conductores del edificio A	8
VIII.	Medición de resistencia de aislamiento de conductores del edificio B	8
IX.	Calibres y secciones de conductores	10
X.	Condición actual de los tableros	17
XI.	Tolerancia para la regulación de tensión	21
XII.	Condición de luminarias segundo nivel del edificio A	34
XIII.	Condición de luminarias tercer nivel del edificio A	35
XIV.	Condición de luminarias cuarto nivel del edificio A	35
XV.	Condición de luminarias primer nivel del edificio B	36
XVI.	Condición de luminarias segundo nivel del edificio B	36

XVII.	Condición de luminarias tercer nivel del edificio B	37
XVIII.	Condición de luminarias cuarto nivel del edificio B	37
XIX.	Reflectancias para paredes	39
XX.	Características de motores	43
XXI.	Rangos de iluminancia recomendados	45
XXII.	Reflectancias efectivas	49
XXIII.	Factores de corrección para los coeficientes de utilización	51
XXIV.	Coeficientes de utilización	51
XXV.	Desempeño de lámparas fluorescentes	55
XXVI.	Datos de lámparas fluorescentes y balastos	56
XXVII.	Cálculos de iluminación para el primer nivel, del edificio A	58
XXVIII.	Cálculos de iluminación para el segundo nivel, del edificio A	59
XXIX.	Cálculos de iluminación para el tercer nivel, del edificio A	61
XXX.	Cálculos de iluminación para el cuarto nivel, del edificio A	61
XXXI.	Cálculos de iluminación para el primer nivel, del edificio B	62
XXXII.	Cálculos de iluminación para el segundo nivel, del edificio B	63
XXXIII.	Cálculos de iluminación para el tercer nivel, del edificio B	63
XXXIV.	Cálculos de iluminación para el cuarto nivel, del edificio B	64
XXXV.	Cantidad de luminarias del edificio A	67
XXXVI.	Cantidad de luminarias del edificio B	68
XXXVII.	Cantidad de toma corrientes del edificio A	69
XXXVIII.	Cantidad de toma corrientes del edificio B	70
XXXIX.	Ampacidad de conductores	71
XL.	Secciones de conductores	72
XLI.	Calibre de alimentadores para tableros secundarios	74
XLII.	Calibre de alimentadores para sub tableros	75
XLIII.	Medición de resistividad del terreno	77
XLIV.	Determinación del coeficiente ambiental	80
XLV.	Determinación del coeficiente estructural	81

XLVI.	Determinación del coeficiente del contenido de la estructura	81
XLVII.	Determinación del coeficiente de ocupación	81
XLVIII.	Coeficiente de consecuencias de la caída del rayo	82
XLIX.	Valores críticos de E	83
L.	Radios de protección de pararrayos	84
LI.	Descripción del diagrama unifilar general	87
LII.	Comparación de carga instalada	110
LIII.	Comparación de conductores ramales	111
LIV.	Centros de carga	112
LV.	Comparación de protecciones	113
LVI.	Inversión necesaria para la implementación del nuevo diseño	122
LVII.	Inversión necesaria para el estudio de ingeniería	123
LVIII.	Costos por generación, transporte y distribución de energía	124
LIX.	Carga instalada en el edificio A, según nuevo diseño	127
LX.	Carga instalada en el edificio B, según nuevo diseño	128
LXI.	Requisitos del participante del Mercado Mayorista	135

LISTA DE ABREVIATURAS

THDV	Distorsión armónica total de voltaje.
THDI	Distorsión armónica total de corriente.
NSTD	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
IEEE	Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos,
Hz.	Hertz.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
NEC	Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica.
ρ	Resistividad del terreno.
Ω	Resistencia eléctrica.
Φ	Ángulo de fase.

GLOSARIO

Aislamiento	Propiedad de los materiales de impedir la circulación de corriente eléctrica.
Ampacidad	Capacidad máxima de conducción de corriente eléctrica de un conductor en condiciones normales de temperatura.
Armónicas	Componentes no fundamentales de la frecuencia de una onda de energía eléctrica deformada de 60 Hz.
Conductor	Medio utilizado para transportar la corriente eléctrica desde una fuente hasta un punto de consumo, regularmente son cables de cobre o aluminio.
Demanda	Consumo de energía eléctrica, en un período determinado.
Factor de carga	Determina la forma en que se esta aprovechando la energía eléctrica, en un sistema, donde su nivel óptimo es 1.
Factor de demanda	Es un indicador de la cantidad de potencia instalada que está siendo alimentada durante los picos de la carga.

Factor de utilización	Indicador que expresa el porcentaje de la capacidad del sistema que se está siendo utilizado.
Iluminancia	Medida de la cantidad de flujo luminoso que incide directamente sobre una superficie.
Nivel Ceráunico	Número de días promedio por año, que al menos se oye un trueno o que existe actividad de tormentas eléctricas en una región determinada.
Puesta a tierra	Conexión intencional de determinadas partes de un circuito o equipo eléctrico a un sistema de tierra física.
Sobrecorriente	Circulación excesiva de corriente, a través de un sistema o equipo eléctrico.

RESUMEN

La evaluación del sistema eléctrico de los edificios A y B del CUM se da a raíz de presentarse distinto tipo de fallos e incomodidades diarias en dicho centro educativo, y a la vez, para encontrar las soluciones adecuadas desde el punto de vista técnico y económico.

El presente estudio contiene la evaluación del estado actual de los sistemas de iluminación y fuerza, también se presenta el análisis de la calidad de la energía eléctrica, con datos importantes como armónicos, potencias, factor de potencia, voltajes y corrientes, que son muy importantes al momento de proponer alguna solución, todo el análisis presentado, está fundamentado en normas nacionales e internacionales vigentes a la fecha.

Cada uno de los sistemas estudiados necesitan la implementación de mejoras, desde la iluminación hasta el sistema principal de alimentación de energía eléctrica, tal es el caso de la necesidad del mejoramiento del factor de potencia, lo cual evitaría las multas impuestas mensualmente, por la empresa suministradora de energía.

Además, se propone un sistema de pararrayos, el cual evitará posibles daños físicos a personas y equipo. Todo lo anterior evaluado económicamente con valores típicos del mercado actual.

OBJETIVOS

General:

Establecer las condiciones actuales de funcionamiento de las instalaciones eléctricas, del Centro Universitario Metropolitano, así como determinar las condiciones en las que podrá desempeñarse el sistema eléctrico a mediano y largo plazo, y a la vez, proponer soluciones para los problemas actuales.

Específicos:

1. Establecer la forma de operación del sistema eléctrico actual.
2. Evaluar las condiciones actuales de las instalaciones eléctricas.
3. Determinar las causas que originan los problemas actuales en el sistema eléctrico.
4. Diseñar un sistema eléctrico que responda a las necesidades actuales y futuras del Centro Universitario Metropolitano.
5. Plantear soluciones adecuadas a los problemas encontrados.
6. Realizar comparaciones entre los modelos actuales y los propuestos, con la finalidad de demostrar la necesidad de su implementación.

INTRODUCCIÓN

Los niveles de iluminación se encuentran normalizados de acuerdo con los convenios internacionales, los cuales definen valores lumínicos adecuados al tipo de actividad a desarrollarse, éstos niveles de iluminación o iluminancia son la parte principal al momento del diseño de un sistema de iluminación, pues de ellos depende la comodidad y la seguridad de las personas que ocuparán el lugar de trabajo.

Según el Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos de Norte América, existen normas para los sistemas de tomas de corriente puestas a tierra, sistemas de redes de tierra física, pararrayos y selección de conductores que deben respetarse con la finalidad de tener una instalación eléctrica lo más segura posible, todo ese normativo es incluido en este estudio, en el cual, cualquier solución está basado fundamentalmente en normas actualizadas y avaladas por organismos internacionales.

De acuerdo con lo evaluado, se presentan las mejoras necesarias para tener un sistema eficiente, seguro y económico, tal es el caso de la red de tierra física y el sistema de pararrayos diseñado, el cual permitirá tener la certeza que las descargas electro atmosféricas no dañarán ni sistemas ni personas.

En el sistema actual existen elementos que pueden ser útiles aún cuando una modificación se realice, tal es el caso del banco de transformadores, el cual se encuentra utilizado en un 42 %, con las modificaciones planteadas se obtendrá mejor utilización de este elemento del sistema.

1. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

1.1. Instalaciones eléctricas

Es un conjunto de dispositivos destinados a suplir de forma continua y segura todos los requerimientos eléctricos de equipos y aparatos utilizados en cualquier actividad, éstas se encuentran sujetas al diseño y necesidades presentadas durante la etapa de evaluación del proyecto.

1.1.1. Caracterización de cargas

En el Centro Universitario Metropolitano se localizan distintos tipos de cargas, debido a su naturaleza de establecimiento educativo, presenta una tendencia a cargas inductivas, debido a que predominan circuitos eléctricos de iluminación, sin embargo, presenta un nivel importante de cargas especiales como redes de computadoras, circuitos destinados para impresión, fotocopiado, equipo para limpieza y en mínima parte motores destinados para los sistemas hidráulicos.

En las tablas I y II se describen las cargas encontradas al momento de realizado el estudio.

Tabla I. Cargas instaladas en el edificio A, CUM

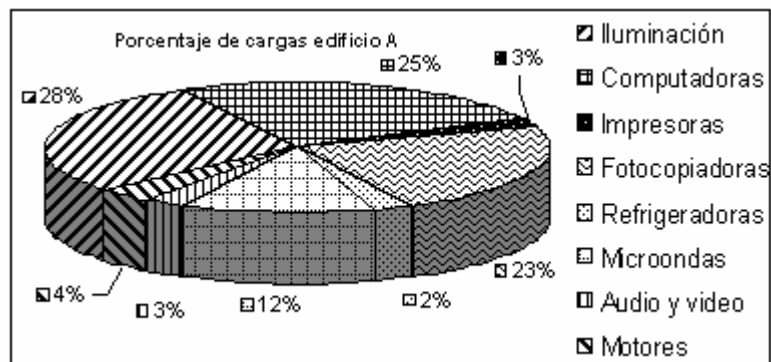
Caracterización de cargas del edificio A, CUM				
Carga	Cantidad	Voltaje	Potencia por unidad	Potencia total
Primer nivel				
Computadora	8	120 V	360 VA	2880 VA
Impresora	6	120 V	60 VA	360 VA
Motor/bomba	2	208 V	2238 VA	4476 VA
fotocopiadora	1	120 V	1440 VA	1440 VA
Equipo de audio	1	120 V	1000 VA	1000 VA
Iluminación	134	120 V	80 VA	10720 VA
Total				20876 VA
Segundo nivel				
Computadora	70	120 V	360 VA	25200 VA
Impresora	37	120 V	60 VA	2220 VA
fotocopiadora	8	120 V	1440 VA	11520 VA
Refrigeradora	9	120 V	300 VA	2700 VA
Microondas	6	120 V	1500 VA	9000 VA
Iluminación	137	120 V	80 VA	10960 VA
Total				61600 VA
Tercer nivel				
Computadora	2	120 V	360 VA	720 VA
Impresora	4	120 V	60 VA	240 VA
fotocopiadora	10	120 V	1440 VA	14400 VA
Refrigeradora	1	120 V	300 VA	300 VA
Microondas	1	120 V	1500 VA	1500 VA
Iluminación	132	120 V	80 VA	10560 VA
Audio y video	4	120 V	600 VA	2400 VA
Total				30120 VA
Cuarto nivel				
Computadora	5	120 V	360 VA	1800 VA
Impresora	4	120 V	60 VA	240 VA
Microondas	3	120 V	1500 VA	4500 VA
Iluminación	132	120 V	80 VA	10560 VA
Total				17100 VA

Tabla II. Cargas instaladas en el edificio B, CUM

Caracterización de cargas del edificio B, CUM				
Carga	Cantidad	Voltaje	Potencia por unidad	Potencia total
Primer nivel				
Computadora	23	120 V	360 VA	8280 VA
Impresora	10	120 V	60 VA	600 VA
Motor/bomba	3	208 V	2238 VA	6714 VA
fotocopiadora	2	120 V	1440 VA	2880 VA
Refrigeradora	2	120 V	300 VA	600 VA
Microondas	1	120 V	1500 VA	1500 VA
Iluminación	131	120 V	80 VA	10480 VA
Total				31054 VA
Segundo nivel				
Iluminación	131	120 V	80 VA	10480 VA
Tercer nivel				
Iluminación	125	120 V	80 VA	10000 VA
Cuarto nivel				
Iluminación	123	120 V	80 VA	9840 VA

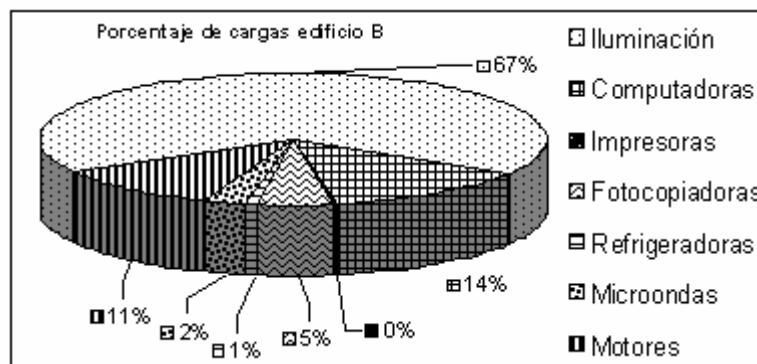
De acuerdo con la información recopilada, se puede observar en la figura 1 que en el edificio A el uso de iluminación, computadoras y fotocopiadoras representan del 76% de la carga total instalada.

Figura 1. Porcentaje que representa cada carga sobre la carga total del edificio A, CUM.



Mientras que la carga en el edificio B, representada en Figura 2, solamente la iluminación representa un 67% de la carga total instalada y el uso computadoras un 14%.

Figura 2. Porcentaje que representa cada carga sobre la carga total del edificio B, CUM.



Como se observa, gran parte de la carga instalada es inductiva, lo cual presenta importantes efectos sobre la red eléctrica general, como se analizará más adelante.

1.1.2. Estado actual y dimensionamiento de conductores

Es una práctica común en ingeniería, dimensionar los conductores utilizados en ramales de tal forma que tengan la capacidad suficiente para transportar la energía que será utilizada en la carga instalada, teniendo el cuidado de que la tensión no alcance un valor elevado de caída en todo el recorrido de alimentación a la carga. En los edificios A y B, del Centro Universitario Metropolitano, se comprobó por medio de inspección visual el dimensionamiento de los conductores de los circuitos ramales, todos los conductores utilizados para la alimentación de cargas de 120 voltios son del calibre 10 AWG, mientras que los conductores destinados para protecciones,

tales como conductores de tierra, son del calibre 12 AWG. Los primeros presentan una capacidad de conducción aproximada de 30 amperios, mientras que los conductores de tierra, tienen una capacidad de conducción de 25 amperios, y tomando en cuenta que los circuitos de iluminación tienen un promedio de 1200 VA instalados, lo cual hace una corriente de 10 amperios, se deduce que los conductores están dimensionados correctamente, además, los niveles de caída de tensión se mantienen por debajo del 3%. El dimensionamiento de los conductores alimentadores se presenta en la tabla III, para el edificio A y en la tabla IV, para el edificio B.

Tabla III. Dimensionamiento de conductores para el edificio A

Dimensionamiento de conductores alimentadores del edificio A						
Calibre del conductor AWG			Circuito	Ampacidad	Estado	
Vivos	Neutral	Tierra			Bueno	Malo
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del primer nivel	130	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del segundo nivel	130	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del tercer nivel	130	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del cuarto nivel	130	√	

Tabla IV. Dimensionamiento de conductores para el edificio B

Dimensionamiento de conductores alimentadores del edificio B						
Calibre del conductor AWG			Circuito	Ampacidad	Estado	
Vivos	Neutral	Tierra			Bueno	Malo
2/0	2/0	2 AWG	Alimentador del primer nivel	195	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del segundo nivel	130	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del tercer nivel	130	√	
2 AWG	2 AWG	4 AWG	Alimentador del cuarto nivel	130	√	

En general, el estado de los conductores es buena aceptable, ya que no presentan indicios de malos manejos al momento de haberse realizado el cableado, principalmente su aislamiento se encuentra en buen estado.

Con relación a su capacidad de conducción y el porcentaje de carga que circula por ellos, se llega a la siguiente conclusión, según la tabla V.

Tabla V. Porcentaje de carga actual en los alimentadores del edificio A

Porcentaje de utilización de los conductores alimentadores, edificio A					
Nivel	Conductor No.	Ampacidad (A)	Carga instalada (W)	Corriente total (A)	Porcentaje utilizado
1	2 AWG	130	20876	57,98888889	44,60683761
2	2 AWG	130	61600	171,1111111	131,6239316
3	2 AWG	130	30120	83,66666667	64,35897436
4	2 AWG	130	17100	47,5	36,53846154

En la tabla V se puede observar que los alimentadores se encuentran a un porcentaje aceptable de utilización en los niveles 1, 3 y 4, sin embargo, para el nivel 2 puede observarse que se ha sobrepasado la capacidad de conducción de los alimentadores, lo cual puede representar problemas en un momento determinado, especialmente en horas pico, donde muchas de las cargas actúan simultáneamente, los riesgos pueden ser de distinta naturaleza, lo cual hace necesario tomar decisiones inmediatas, las cuales pueden ir desde desconexión de cargas hasta modificar el diseño de los alimentadores, ésta sería la mejor opción.

Tabla VI. Porcentaje de carga actual en los alimentadores del edificio B.

Porcentaje de utilización de los conductores alimentadores, edificio B					
Nivel	Conductor No.	Ampacidad (A)	Carga instalada (W)	Corriente total (A)	Porcentaje utilizado
1	2/0	195	31054	86,26111111	44,23646724
2	2 AWG	130	10480	29,11111111	22,39316239
3	2 AWG	130	10000	27,77777778	21,36752137
4	2 AWG	130	9840	27,33333333	21,02564103

En el edificio B, los conductores no se encuentran sobrecargados, como se observa en la tabla VI, el circuito más cargado es el del primer nivel, esto permite aún la conexión de más carga, teniendo siempre el cuidado necesario de no exceder la capacidad para la que fueron diseñados.

1.1.2.1. Resistencia de aislamiento

Las pruebas de aislamiento son necesarias para comprobar que un circuito eléctrico no se encuentra en riesgo de sufrir una falla eléctrica de cualquier tipo, sea entre fases, de fase a neutro o de fase a tierra, es recomendable realizar las pruebas antes de la puesta en servicio de un sistema eléctrico y luego con cierta periodicidad para comprobar los niveles de aislamiento y evitar así una posible falla en el circuito.

1.1.2.2 Pruebas de aislamiento

Estas pruebas se realizaron en los edificios A y B, a los alimentadores que distribuyen energía eléctrica a cada nivel, con las cargas desconectadas, obteniéndose los resultados que se detallan en las tablas siguientes.

Tabla VII. Medición de resistencia de aislamiento, edificio A

Mediciones de aislamiento de conductores, edificio A		
Primer nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	15 MΩ	Bueno
L2 - N	10 KΩ	Defectuoso
L3 - N	25 MΩ	Bueno
L1 - L2	10 MΩ	Bueno
L2 - L3	80 MΩ	Bueno
L1 - L3	500 MΩ	Bueno
Segundo nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	15 MΩ	Bueno
L2 - N	20 MΩ	Bueno
L3 - N	300 MΩ	Bueno
L1 - L2	100 MΩ	Bueno
L2 - L3	40 MΩ	Bueno
L1 - L3	500 MΩ	Bueno
Tercer nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	15 MΩ	Bueno
L2 - N	35 MΩ	Bueno
L3 - N	90 MΩ	Bueno
L1 - L2	500 MΩ	Bueno
L2 - L3	500 MΩ	Bueno
L1 - L3	500 MΩ	Bueno
Cuarto nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	300 MΩ	Bueno
L2 - N	4,5 MΩ	Bueno
L3 - N	30 MΩ	Bueno
L1 - L2	400 MΩ	Bueno
L2 - L3	50 MΩ	Bueno
L1 - L3	400 MΩ	Bueno

Tabla VIII. Medición de resistencia de aislamiento, edificio B

Mediciones de aislamiento de conductores, edificio B		
Primer nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	25 MΩ	Bueno
L2 - N	100 MΩ	Bueno
L3 - N	35 MΩ	Bueno
L1 - L2	4,5 MΩ	Bueno
L2 - L3	15 MΩ	Bueno
L1 - L3	80 MΩ	Bueno
Segundo nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	12 Ω	Defectuoso
L2 - N	100 MΩ	Bueno
L3 - N	300 MΩ	Bueno
L1 - L2	100 MΩ	Bueno
L2 - L3	500 MΩ	Bueno
L1 - L3	500 MΩ	Bueno
Tercer nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	9,5 MΩ	Bueno
L2 - N	200 KΩ	Defectuoso
L3 - N	500 MΩ	Bueno
L1 - L2	10 MΩ	Bueno
L2 - L3	500 MΩ	Bueno
L1 - L3	500 MΩ	Bueno
Cuarto nivel		
Circuito	Resistencia	Estado
L1 - N	200 MΩ	Bueno
L2 - N	0,2 MΩ	Defectuoso
L3 - N	2,5 Ω	Defectuoso
L1 - L2	200 MΩ	Bueno
L2 - L3	1 MΩ	Bueno
L1 - L3	150 MΩ	Bueno

En el edificio A se encontró defectuoso el nivel de aislamiento entre una línea y neutro, sin embargo, en el edificio B se localizan cuatro circuitos defectuosos, con posibilidad de producirse una falla, el primero es en el segundo nivel entre una línea y neutro, la segunda es en el tercer nivel, entre una línea y neutro también y las dos restantes se localizan en el circuito del cuarto nivel, entre una línea y neutro.

La evaluación anterior, se realizó con base en la norma DIN VDE 0100 parte 610, la cual indica que para valores menores de 500 voltios, se puede tener un nivel mínimo de aislamiento de 0.5 mega ohmios ($M\Omega$).

1.1.2.3. Capacidad, calibres y secciones de conductores eléctricos

Los conductores se designan por medio de calibres especificados en AWG (American Wire Gauge), éstos tienen un área equivalente que puede estar dada regularmente en mm^2 o en plg^2 y es el dato más importante al momento de seleccionar un conductor que será utilizado en un circuito eléctrico.

El Código Eléctrico Nacional (NEC) ha determinado las capacidades seguras máximas para los conductores eléctricos, de acuerdo a esto, se lista a continuación las capacidades máximas permisibles para los conductores encontrados en las instalaciones eléctricas de los edificios A y B del Centro Universitario Metropolitano, donde se encontraron conductores desde el 250 MCM hasta el No. 12 AWG.

Tabla IX. Capacidades, calibres y secciones de conductores.

Edificio A			
Ubicación	Calibre AWG	Sección (mm²)	Capacidad máxima (A)
Alimentadores del primer nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del primer nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del primer nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del segundo nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del segundo nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del segundo nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del tercer nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del tercer nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del tercer nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del cuarto nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del cuarto nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del cuarto nivel	4 AWG	21,15	95
Ramales para tomacorrientes	10 AWG	5,26	40
Tierra para tomacorrientes	12 AWG	3,31	30
Ramales para iluminación	10 AWG	5,26	40
Tierra para iluminación	12 AWG	3,31	30
Edificio B			
Ubicación	Calibre AWG	Sección (mm²)	Capacidad máxima (A)
Alimentadores del primer nivel	2/0	67,44	195
Neutral del primer nivel	2/0	67,44	195
Tierra del primer nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del segundo nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del segundo nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del segundo nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del tercer nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del tercer nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del tercer nivel	4 AWG	21,15	95
Alimentadores del cuarto nivel	2 AWG	33,63	130
Neutral del cuarto nivel	2 AWG	33,63	130
Tierra del cuarto nivel	4 AWG	21,15	95
Ramales para tomacorrientes	10 AWG	5,26	40
Tierra para tomacorrientes	12 AWG	3,31	30
Ramales para iluminación	10 AWG	5,26	40
Tierra para iluminación	12 AWG	3,31	30

1.1.3. Protecciones para motores

Existen varios tipos de protecciones que pueden hacer que una instalación eléctrica esté completamente resguardada ante cualquier falla o anomalía de funcionamiento; pero hay tres que deben utilizarse en cualquier clase de instalación de baja tensión:

- 1) Protecciones contra cortocircuitos: Interruptores y fusibles termomagnéticos.
- 2) Protecciones contra sobrecargas: Fusibles, interruptores termomagnéticos y reles térmicos.
- 3) Protecciones contra contactos accidentales y fallas a tierra: Interruptores diferenciales y puesta a tierra.

Por su parte, los elementos de protección permiten detectar condiciones anormales definidas e interrumpir la alimentación eléctrica al circuito bajo falla. Esta interrupción puede realizarla el mismo elemento de protección o ser ejecutada por el elemento de maniobra al cuál está vinculado.

1.1.3.1. Fusibles

Tienen que colocarse fusibles en los circuitos de los motores, de acuerdo con el NEC. La corriente nominal del fusible debe ser considerablemente superior a la corriente nominal del motor, o el fusible se quemará al arrancar el motor. Por esta razón, los fusibles no dan una protección adecuada contra sobrecargas. Proporcionan protección para el motor sólo en el caso de un cortocircuito o de una sobrecarga muy alta. Su finalidad principal es la de dar protección al circuito, en lugar de dársela al motor.

Para la selección de los fusibles puede emplearse una tabla que da la intensidad de los mismos en función de la intensidad de los motores a plena carga. Asimismo, hay que tener en cuenta que los fusibles deberán poseer una

característica especialmente "retardada". Estos fusibles se usan especialmente para la protección de motores asíncronos con rotor de jaula, debido a que soportan los picos de corriente que estos absorben en el arranque.

1.1.3.2. Protección contra sobrecarga

Los relés térmicos constituyen un método indirecto de protección, ya que operan en función de la corriente que el motor está tomando de la red. Con base a ella evalúa un determinado estado de calentamiento de los arrollamientos del motor.

Por otro lado, en el caso particular de falta de fase, hay un aumento en el consumo de corriente debido a la necesidad de mantener la potencia constante y el motor se calienta, lo cual hace actuar al relé térmico.

El relé térmico siempre debe estar regulado al valor de funcionamiento del motor, esto es al valor de placa, sólo si está a plena carga; y nunca a un valor superior al nominal.

Los relés térmicos pueden tener señalización de relé disparado, botón de disparo, botón de reposición automática o bloqueo de reconexión, y dos contactos auxiliares para desconexión del contactor y para señalar a distancia la falla.

En resumen, si la corriente del motor sobrepasa los valores admitidos, el relé térmico acciona un contacto auxiliar, el cual a su vez desenergiza el contactor que alimenta al equipo sobreexigido.

Para lograr una correcta desconexión debe eliminarse la influencia de la temperatura ambiente sobre los bimetales de la protección térmica; esto se logra por un dispositivo compensador. Habitualmente las curvas de desconexión son independientes de la temperatura ambiente entre -25°C y $+55^{\circ}\text{C}$.

1.1.3.3. Protección contra baja tensión

Éste es el efecto de un dispositivo, que puede funcionar con la reducción o falla del voltaje, para causar y mantener la interrupción de la energía eléctrica hacia el circuito principal.

Con los controladores magnéticos esta protección se obtiene con el empleo de alguna forma de interruptor maestro trifilar. Si el voltaje de línea cae hasta un valor bajo falla del todo, el contactor de la línea principal se abrirá y permanecerá abierto, deteniendo el motor.

1.1.3.4. Protección contra pérdida de fase

Este es el efecto de un dispositivo que puede funcionar con la falla de la energía en uno de los conductores de un circuito polifásico, para causar y mantener la interrupción de la energía en todos los conductores del circuito.

El guardamotor es un dispositivo que permite reunir todas las necesidades de un arranque directo en un solo aparato.

El mismo es básicamente un interruptor automático, cuya característica de disparo es exactamente igual a la del relé térmico. Puede incluir el disparo por falta de fase, la compensación de temperatura ambiente y un disparo magnético

ajustado para proteger adecuadamente al térmico. Por eso el guardamotor, dentro de ciertos límites, reemplaza al conjunto [contactor + térmico + fusibles].

1.1.4. Análisis de protecciones de subestaciones

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica, o bien conservarle dentro de ciertas características.

Para la seguridad de las personas e instalaciones donde éstas operan, son necesarios los siguientes dispositivos de protección.

1.1.4.1. Cortacircuitos y fusibles de distribución

El propósito principal de un cortacircuito es proveer protección a las líneas y a los distintos equipos a ellas conectadas de sobre intensidades que se presenten en el sistema. El cortacircuito deberá ser instalado en el punto de alimentación del alimentador lateral, además deben ser del tipo abierto, para montaje vertical, operación con pértiga y clase distribución.

La corriente nominal del elemento fusible dependerá de la carga conectada a la línea final, la clase del elemento fusible debe ser CLASE T, el cual tiene la capacidad para transportar 150% de su corriente nominal sin producir daños al elemento fusible o al cortacircuito.

Un cortacircuitos de distribución típico utilizado con mucha regularidad es el de 15 Kv, 100 A. nominales, corte asimétrico mínimo de 10000 A, 95 KV BIL, con soporte para cruceta de madera de 92 mm X 115 mm.

La corriente nominal de los fusibles clase T deberá ser de 1, 2, 3, 6, 8, 10 y 15 A, de acuerdo con la carga del alimentador lateral. La longitud del fusible debe ser de 26 pulgadas de largo y cabeza removible.

1.1.4.2. Pararrayos

Los pararrayos de distribución son utilizados para protección de sobretensiones que pudiesen afectar a las personas y al equipo eléctrico, los alimentadores laterales serán derivados de subalimentadores trifásicos, multiaterrizados y en ellos no se presentarán sobrevoltajes mayores de 80% del voltaje de línea a línea, o bien, 140% del voltaje de línea a neutro.

Los márgenes de protección proporcionados por estos pararrayos a los transformadores de distribución de 7.6 KV con BIL de 95 KV y 19 KV con un BIL de 125 KV, son: 143% y 30% respectivamente. El margen de protección debe ser mayor del 20%.

Los pararrayos de distribución de 7.6 KV deben ser del tipo válvula o de óxidos metálicos, de conexión directa para 10 KV, con soporte para cruceta de madera de 90 mm X 115 mm.

1.1.5. Tableros

Es aquel que alimenta, protege, interrumpe, mide y transfiere circuitos primarios.

1.1.5.1. Clasificaciones

Los tableros pueden ser:

- 1) de baja tensión: es el que trabaja a una tensión no mayor de 1000 voltios de corriente alterna. Las tensiones nominales de corriente alterna para tableros de baja tensión son:
 - a) 120 voltios
 - b) 240 voltios
 - c) 480 voltios
 - d) 550 voltios

- 2) de alta tensión: es el que trabaja a una tensión mayor de 1000 voltios de corriente alterna. Las tensiones nominales de corriente alterna para tableros de alta tensión son:
 - a) 2400 voltios
 - b) 4160 voltios
 - c) 7200 voltios
 - d) 13800 voltios
 - e) 23000 voltios
 - f) 34500 voltios

1.1.5.2. Condición actual

La tabla X muestra las características actuales del tablero principal y los secundarios del CUM.

Tabla X. Condición actual de los tableros de distribución de los edificios A y B del CUM

Localización del tablero	Voltaje	Barras	Breaker	Conductores	Estado
Tablero principal	208	600	3x450	2 cables 350/fase	Defectuoso
				2 neutros 4/0	
				1 tierra 1/0	
Tablero secundario primer nivel B	208	125	3x175	1 cable 2/0 por fase	Defectuoso
				1 neutro 2/0	
				1 tierra 2 AWG	
Tablero secundario segundo nivel B	208	125	3x150	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	
Tablero secundario tercer nivel B	208	125	3x100	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	
Tablero secundario cuarto nivel B	208	125	3x100	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	
Tablero secundario primer nivel A	208	125	3x125	1 cable 2/0 por fase	Defectuoso
				1 neutro 2/0	
				1 tierra 2 AWG	
Tablero secundario segundo nivel A	208	125	3x175	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	
Tablero secundario tercer nivel A	208	125	3x100	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	
Tablero secundario cuarto nivel A	208	125	3x100	1 cable 2 AWG/fase	Bueno
				1 neutro 2 AWG	
				1 tierra 4 AWG	

1.2. Análisis de redes

El incremento acelerado del uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos, debido principalmente al auge de la electrónica de potencia en estos últimos años, ha permitido un uso más eficiente de la energía eléctrica y aumentos considerables en la productividad, pero por otra parte ha provocado una situación problemática grave, donde las corrientes armónicas generadas por los propios equipos electrónicos distorsionan la onda de corriente y perturban la operación de estos mismos equipos provocando, además calentamientos excesivos y pérdidas de energía en máquinas eléctricas, conductores y demás equipos del sistema eléctrico.

El análisis de redes se realizó con la ayuda del Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásica POWER PAD, instalado por la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA), por un periodo de 24 horas continuas durante 7 días.

1.2.1. Corrientes

La corriente eléctrica que circula por la sección transversal de un conductor se define como la tasa de transferencia neta de carga con respecto al tiempo.

La comprobación de la cantidad de corriente que circula por un conductor nos da una idea clara de la condición en la que se encuentra un circuito eléctrico, pues de ella dependen muchas tomas de decisiones que pueden afectar de una forma positiva o negativa el funcionamiento y seguridad del circuito.

En la evaluación realizada al circuito eléctrico principal de los edificios A y B del Centro Universitario Metropolitano, se encontró la siguiente distribución de corriente en sus conductores y tablero principales, mostrada en las figuras 3, 4 y 5.

Figura 3. Corriente circulante por L1

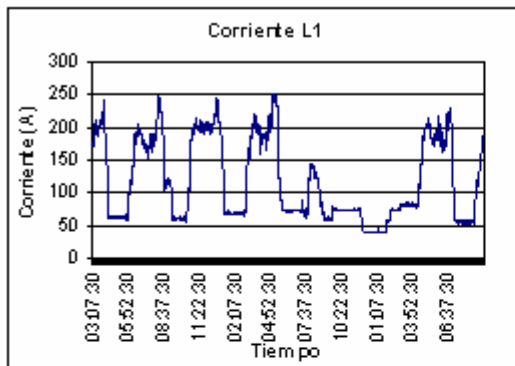


Figura 4. Corriente circulante por L2

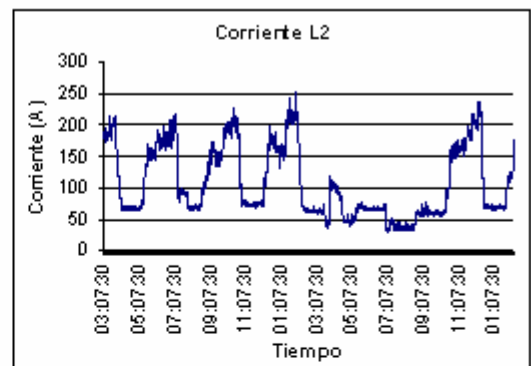
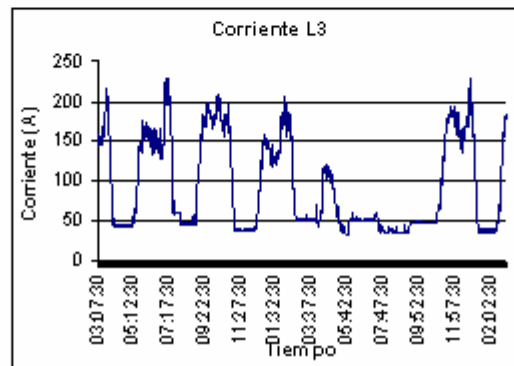


Figura 5. Corriente circulante por L3



Como puede observarse, las corrientes la carga en las líneas 1 y 2 se acercan a los 250 amperios, sin embargo, en la línea 3 se encuentra por debajo de ese valor, además los instantes en que ocurren los picos de corriente no son los mismos para las tres líneas, esto evidencia una mala distribución de la carga.

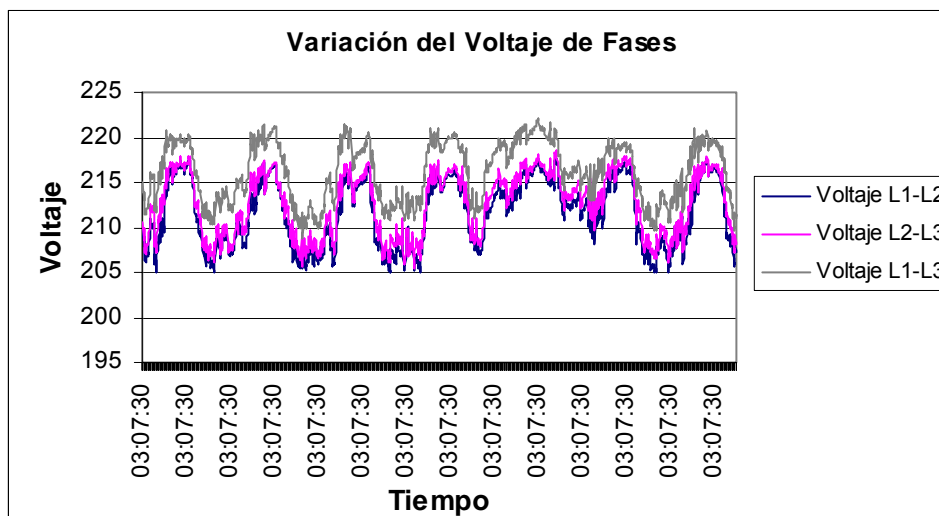
Este desbalance repercutirá directamente sobre los conductores, protecciones y transformadores, y será necesario reacondicionar los circuitos que presenten mayor desbalance de una forma que se señalará posteriormente en este informe.

1.2.2. Voltaje

Si se consume energía sobre una cantidad de carga, la relación entre el trabajo y la carga recibe el nombre de voltaje.

Con respecto al voltaje, también se encuentran variaciones importantes pues la tensión entre la línea 1 y 3 es distinta a las otras tensiones de fases, para intervalos de tiempo iguales, sin embargo, la tensión se encuentra dentro de un rango aceptable de caída de tensión, aún en horas pico, esto puede comprobarse al analizar la figura 6 y se explicará a continuación. Los valores promedio son: L1-L2 211V, L2-L3 212V y L1-L3 216V.

Figura 6. Voltajes de fase



Según las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD), en su artículo 23, capítulo 2 sobre Regulación de Tensión, el porcentaje de regulación de tensión viene dado por la ecuación 1

$$\Delta V_k = \frac{|V_k - V_n| \times 100}{V_n} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V_k = media de los valores eficaces (RMS) de tensión

V_n = valor de la tensión nominal

Para una tensión nominal de 208 V, se tiene un porcentaje de regulación de 1.44 para L1-L2, 1.92 para L2-L3 y 3.84 para L1-L3.

Lo anterior, junto con la Tabla de Tolerancias para la Regulación de Tensión proporcionada en el artículo 24, capítulo 2 sobre Tolerancias para la Regulación de Tensión, y que se describe en la tabla XI, nos indica que para el CUM existe un porcentaje de regulación de tensión admisible del 8%.

Tabla XI. Tolerancia admisible respecto del valor nominal en (%)

TENSIÓN	TOLERANCIA ADMISIBLE RESPECTO DEL VALOR NOMINAL, EN (%)					
	ETAPA					
	TRANSICIÓN		RÉGIMEN A partir del mes 1 hasta el 12		RÉGIMEN A partir del mes 13	
	Servicio Urbano	Servicio Rural	Servicio Urbano	Servicio Rural	Servicio Urbano	Servicio Rural
BAJA	12	15	10	12	8	10
MEDIA	10	13	8	10	6	7
ALTA	TRANSICIÓN		RÉGIMEN		RÉGIMEN	
	7		6		5	

Fuente: NTSD

Esto indica que los valores de tensión se encuentran dentro de un rango aún aceptable.

1.2.3. Factor de potencia

Denominamos factor de potencia o factor de potencia verdadero, al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo existente entre la tensión de alimentación y la corriente consumida por un elemento ya sea inductivo, capacitivo o resistivo.

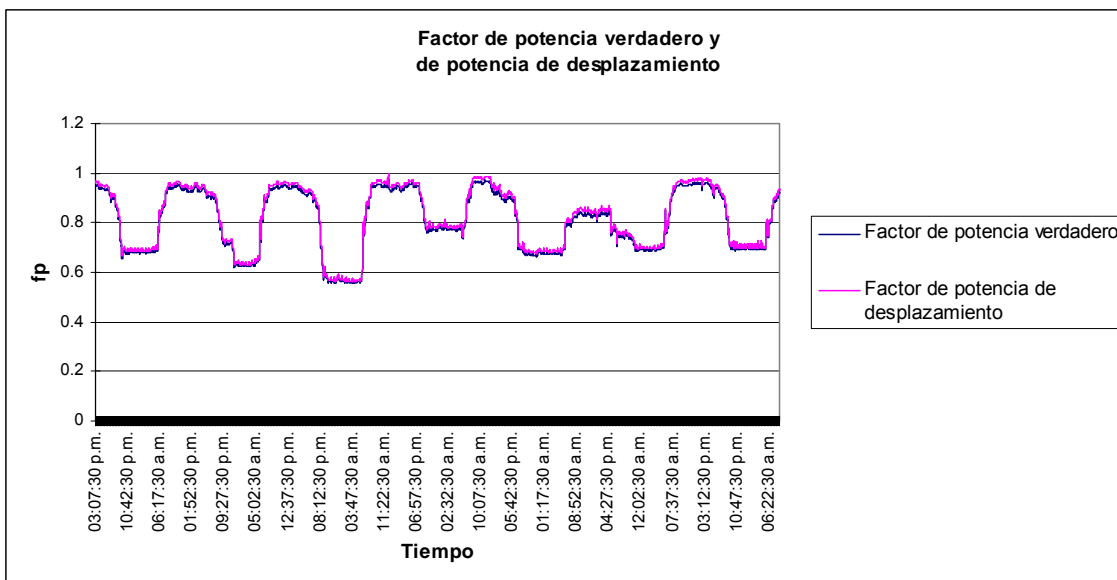
Sin embargo, el factor de potencia, realmente debe descomponerse en el producto del factor de potencia de la fundamental por un factor de desplazamiento, que engloba el aporte del resto de las armónicas.

En presencia de poliarmónicas, el cuadrado de la potencia aparente no es igual generalmente a la suma de los cuadrados de las potencias activa y reactiva. En consecuencia se introduce el concepto de potencia de deformación D. La potencia de deformación se mide en Volt-Ampere de deformación (VAd).

1.2.3.1. Factor de potencia de desplazamiento

Como se mencionó anteriormente, el factor de potencia se ve afectado por la potencia de desplazamiento, lo cual deriva en una disminución del factor de potencia verdadero, en el estudio realizado, se encontró que el factor de potencia de desplazamiento tiene valores muy cercanos al factor de potencia verdadero, lo que provoca poca disminución en este último, la figura 7 muestra la relación existente entre el factor de potencia verdadero y de desplazamiento.

Figura 7. Factor de potencia verdadero y de desplazamiento



Puede observarse de la figura 7 varios aspectos importantes, como que el factor de potencia verdadero tiene una tendencia a disminuir hasta un valor cercano a 0.6, en horarios de baja demanda, mientras que el factor de potencia promedio es de 0.77 de acuerdo a la relación potencia activa – potencia aparente, y que en un momento determinado, podrían ser causa de sanción por parte de la empresa suministradora de energía eléctrica, aparte de sufrir daños en los sistemas eléctricos, para corregir este problema se sugiere la instalación de un banco de capacitores diseñado especialmente para este caso.

1.2.4. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la rapidez con respecto al tiempo del flujo de energía eléctrica y se divide en potencia activa, reactiva y aparente.

1.2.4.1. Potencia Activa

Si tanto el voltaje como la corriente son periódicas con respecto al tiempo, el promedio con respecto al tiempo de la potencia instantánea, tomado sobre un número entero de periodos es la potencia activa, comúnmente se le llama potencia, cuando no hay posibilidad de confusión.

En este estudio, se realizó la medición de la potencia activa que es consumida por ambos edificios, las variaciones en el consumo pueden analizarse con más facilidad en las figuras 8, 9, 10, 11.

Figura 8. Potencia Activa L1

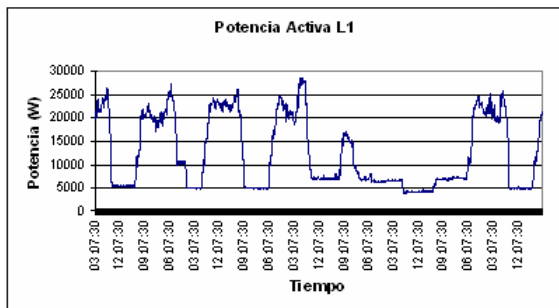


Figura 9. Potencia Activa L2

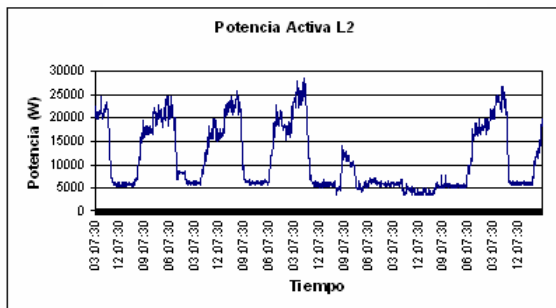


Figura 10. Potencia Activa L3

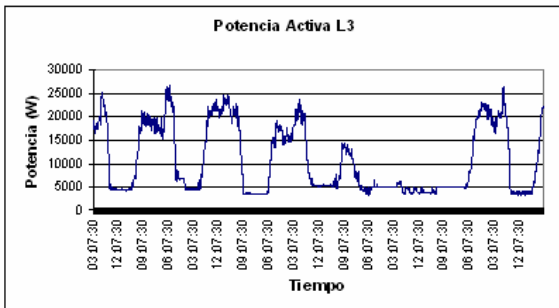
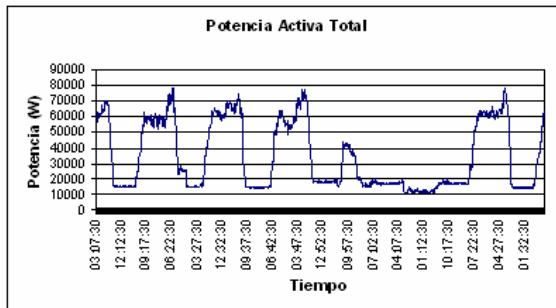


Figura 11. Potencia Activa Total



Puede observarse que el consumo de potencia activa es similar en las tres líneas, el cual llega a 28 Kw en horas pico, además hay una periodicidad bien marcada en el consumo, según la figura 11.

La potencia total alcanza los 78.442 KW en horas pico y desciende a los 10.8 kW en horas de bajo consumo, mientras que su promedio es 30.076 KW.

1.2.4.2. Potencia Reactiva

Es el producto del valor rms del voltaje y el valor rms de la corriente y su unidad de medida es el Var. (Voltio-Amperio-Reactivo).

Si un circuito pasivo contiene bobinas, condensadores o ambos tipos de elementos, una parte de la energía consumida durante un ciclo se almacena en ellos y posteriormente vuelve a la fuente. La potencia envuelta en este intercambio se denomina potencia reactiva o en cuadratura y su existencia degrada la operación de los sistemas de potencia.

En el análisis de las figuras 12, 13, 14 y 15 se observa que la potencia reactiva de los edificios alcanza niveles mayores a 12 KVar en la línea 1 mientras que en las dos líneas restantes llega a los 10 y 11 KVar.

La energía reactiva total llega a 33.214 KVar en horas pico y desciende a cerca de 6.274 KVar en horas en las que la mayor parte de la carga se encuentra fuera de servicio, su promedio es de 17.130 KVar, según la figura 15.

Figura 12. Potencia reactiva L1

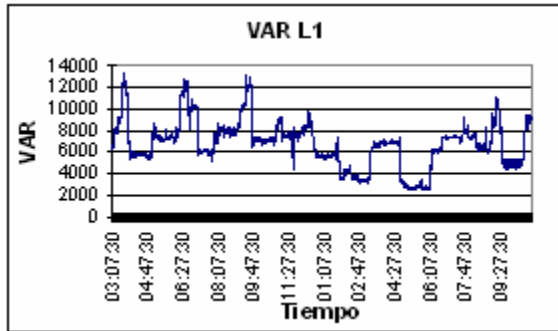


Figura 13. Potencia reactiva L2

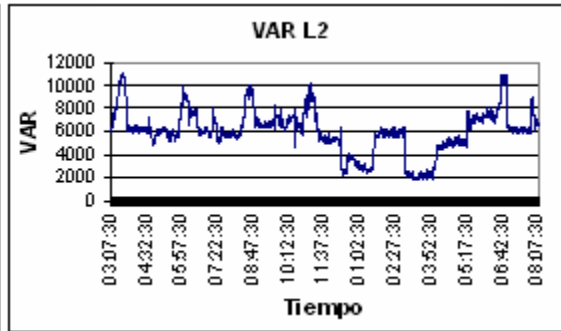


Figura 14. Potencia reactiva L3

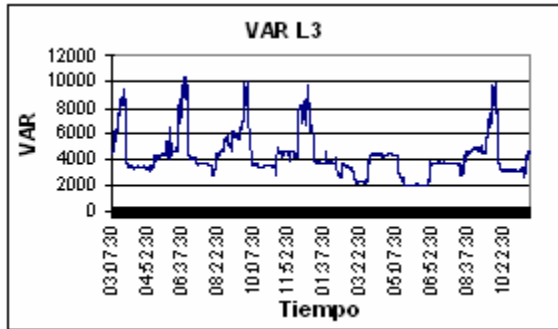
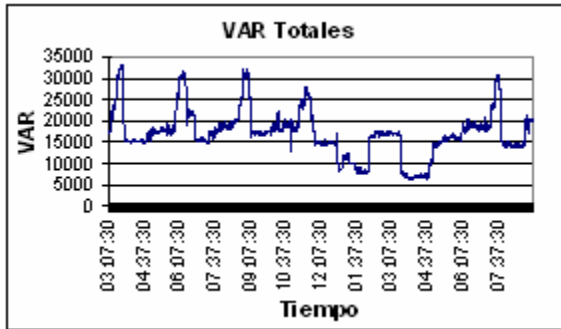


Figura 15. Potencia reactiva total



1.2.4.3. Potencia Aparente

Es el producto del valor rms del voltaje y el valor rms de la corriente, su unidad es el voltio-ampere (VA).

Las dos potencias, activa y reactiva pueden ser representadas apropiadamente en forma de una magnitud vectorial denominada potencia aparente. Esta potencia es la utilizada para dimensionar conductores y demás elementos de una instalación eléctrica.

En la instalación eléctrica analizada, se han medido valores de potencia aparente máximos de 30 KVA, como se puede apreciar en las figuras 16, 17 y 18, esto en las líneas individuales, mientras que la potencia total asciende a un máximo de 84.075 KVA y un mínimo de 12.802 KVA, según figura 19, para horas determinadas de máximo y mínimo consumo respectivamente, mientras que su promedio es de 38.968 KVA.

Figura 16. Potencia aparente L1

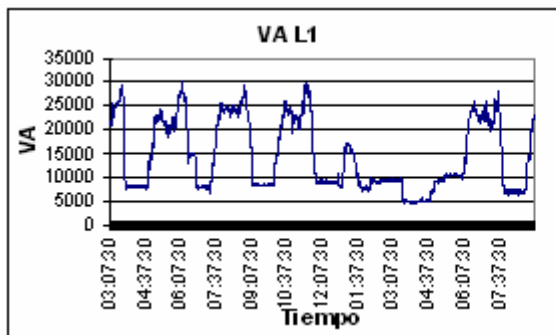


Figura 17. Potencia aparente L2

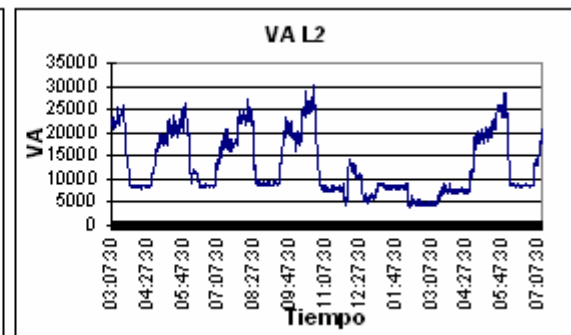


Figura 18. Potencia aparente L3

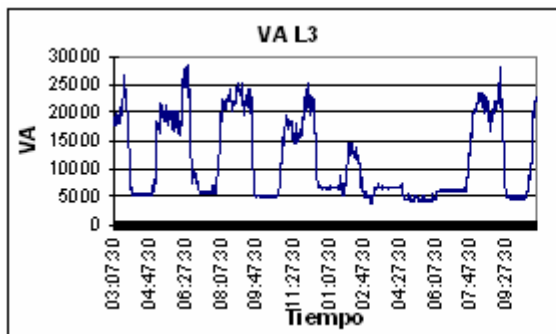
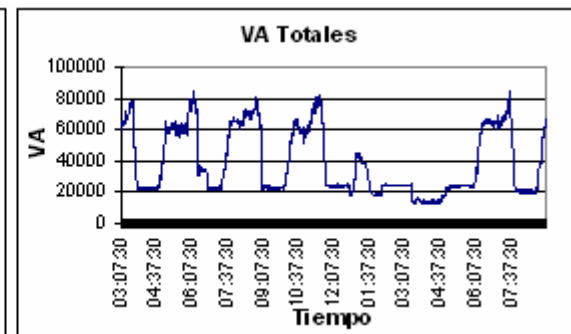


Figura 19. Potencia aparente total



1.2.5. Factor K

Es un valor que permite ponderar el efecto de las corrientes armónicas sobre los transformadores. El factor K permite evaluar el efecto que las corrientes armónicas tienen en el calentamiento del transformador. Un factor $K=1$ indica la no presencia de armónicos, en consecuencia cuanto más alto es el factor K, mayor es el efecto de calentamiento producido por los armónicos, las figuras 20, 21 y 22 muestran la situación del factor K en el presente estudio, como puede observarse, éste presenta un valor de 1.4 para la línea 1, 2.8 para la línea 2 y 1.8 para la línea 3

Figura 20. Factor K para L1

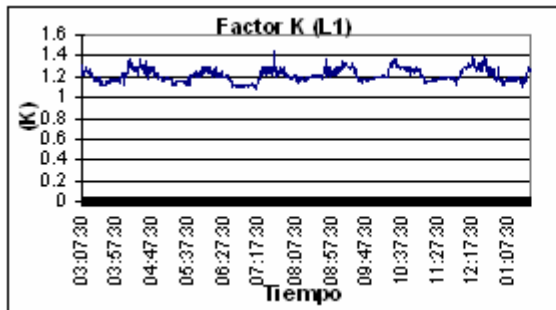


Figura 21. Factor K para L2

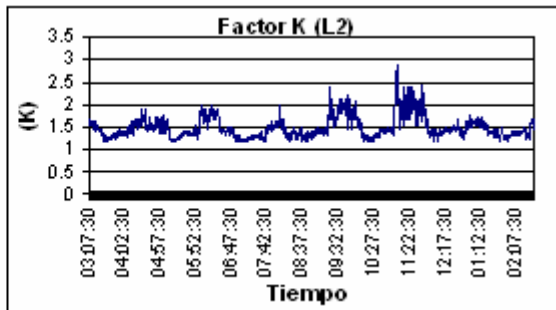
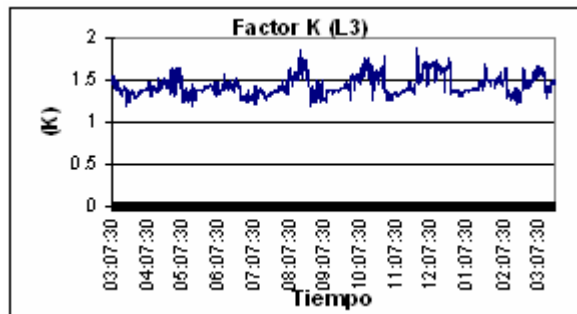


Figura 22. Factor K para L3



1.2.6. Análisis de armónicos

El alumbrado fluorescente y los equipos electrónicos de telecomunicaciones controladores de energía, equipos de seguridad, alarmas, computadoras, elevadores controlados con electrónica de estado sólido, etc., provocan altos niveles de distorsión armónica que ya es preciso tener en cuenta en la operación, mantenimiento y diseño de las redes eléctricas alimentadoras instaladas en los mismos.

El alumbrado fluorescente produce niveles de distorsión armónica de hasta 26% en la onda de corriente, la NTSD en su artículo 42, nos indica que la distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, por lo que establece una tolerancia de 20 %.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en el periodo de medición, dichas mediciones muestran que la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga ha excedido el rango de tolerancias máxima.

Los equipos de telecomunicaciones producen niveles de distorsión armónica de hasta 26% en la onda de corriente, las computadoras e impresoras producen niveles de distorsión armónica de hasta 124% en la onda de corriente, con alto contenido en 3^a, 5^a, 7^a, 9^a, 11^a y 15^a armónicas.

1.2.6.1. Distorsión armónica THDV y THDI

Las cargas no lineales producen corrientes armónicas ΣI_{hc1} que fluyen por las líneas de fase y de neutro, provocando caídas de tensión en las

impedancias de línea Z_l , de neutro Z_n e incluso impedancias internas Z_s de las fuentes de tensión de la red. Incluso pueden fluir por las redes de tierra si existe acoplamiento con líneas o neutro. Estas caídas se combinan con la onda sinusoidal de la fuente V_s , resultando en fuentes de tensión distorsionada ΣI_{hc2} para otras cargas lineales operando en paralelo. Se encontraron niveles de corrientes armónicas considerables en el estudio del Centro Universitario Metropolitano, como puede verse en las figuras 23, 24 y 25.

Figura 23. TDHV entre L1 y L2

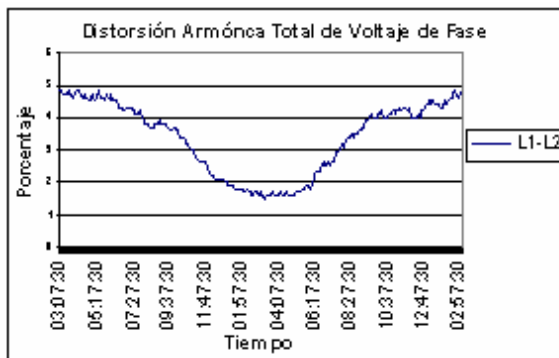


Figura 24. TDHV entre L2 y L3

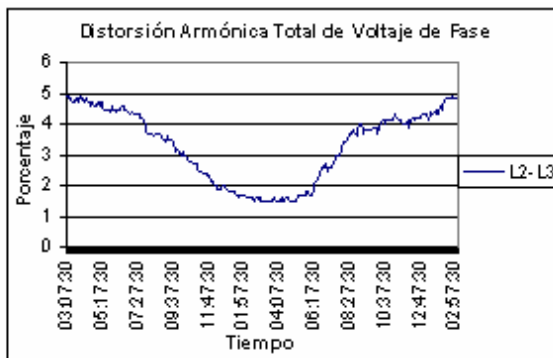
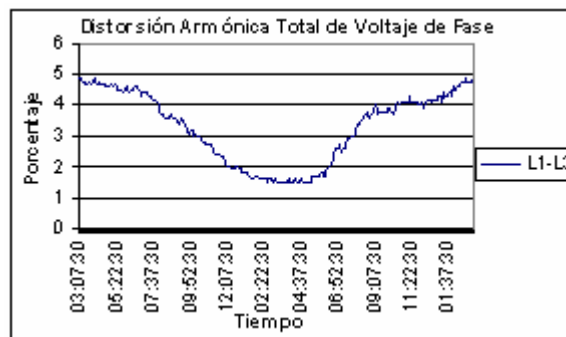


Figura 25. TDHV entre L1 y L3



Como puede observarse, la THDV se encuentra en valores comprendidos entre 1.5 y 5%, catalogados como normales, la tolerancia para la distorsión armónica total de tensión para baja tensión, lo establece la NTSD para un valor máximo de 8%, y considera que la energía eléctrica es de mala

calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al período de medición, (para este caso, el 5% de 24 hrs es igual a 1.2 hrs) las mediciones muestran que la distorsión Armónica de Tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas. Lo anterior lleva a concluir que no se ha sobrepasado la tolerancia para la THDV, pues no sobrepasa el 5%. Los valores de THDI se muestran también en las figuras 26, 27 y 28 en ella puede observarse que las líneas 2 y 3 alcanzan valores del 16% aproximadamente, sin embargo, no se ha sobrepasando el 20 % recomendado por las NTSD.

Figura 26. THDI en L1

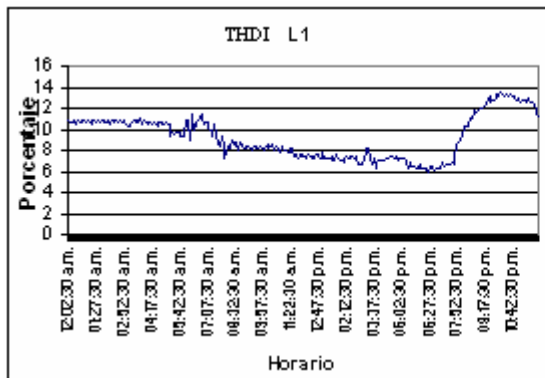


Figura 27. THDI en L2

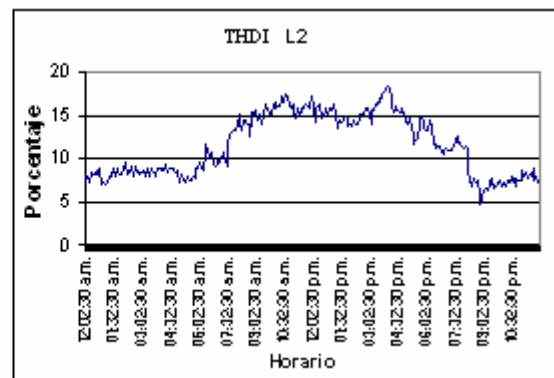
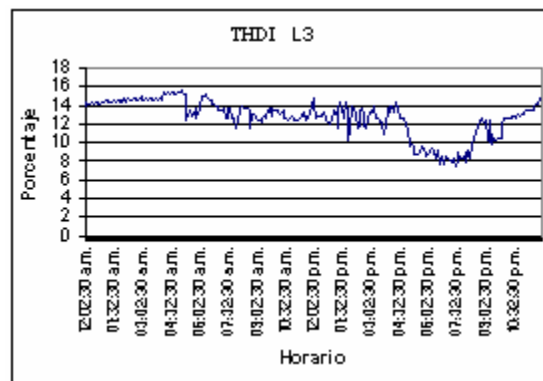


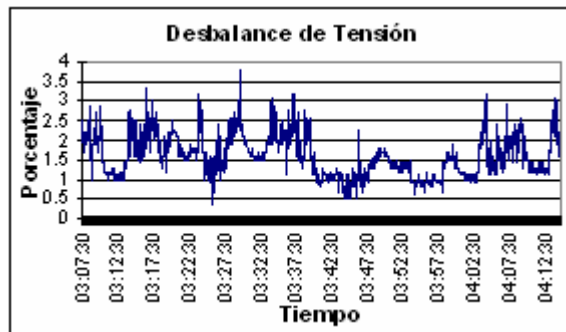
Figura 28. THDI en L3



1.2.7. Desbalance de tensión y de corriente

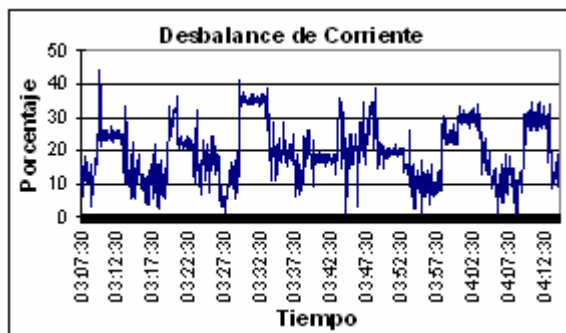
Las NTSD establecen una tolerancia para el desbalance de tensión que equivale al 3% en sistemas de baja tensión, esto en su Artículo 27, capítulo 3, mientras que en el Centro Universitario Metropolitano se han medido desbalances que sobrepasan ese nivel de tolerancia, como se observa en la Figura 29,

Figura 29. Desbalance de tensión



Mientras que en la figura 30 puede observarse que el desbalance de corriente alcanza el 40%.

Figura 30. Desbalance de corriente



El desbalance de la corriente es evidente, poniendo en riesgo de sobrecargar tanto líneas principales como al banco de transformadores, provocar errores de interrupción en los dispositivos de seguridad y producir pérdidas considerables por sobre calentamiento en los elementos mencionados. Como ya se mencionó anteriormente, es necesario eliminar la carga excedente en las líneas 1 y 2, de manera que pueda equilibrarse con la línea 3.

1.3. Iluminación

Los sistemas de iluminación han sido diseñados con la finalidad de proporcionar seguridad y comodidad al momento de realizar una tarea cualquiera, sin embargo, el diseño del sistema involucra muchas otras actividades encaminadas a lograr un desempeño óptimo de este.

1.3.1. Revisión visual

En el estudio del sistema eléctrico del Centro Universitario Metropolitano, se hizo necesaria la revisión visual del sistema de iluminación, para detectar posibles fallas que pudieran estar afectando su funcionamiento, esta revisión visual incluye no solo la determinación del estado de las lámparas, sino la medición del nivel lumínico presente en cada ambiente, a continuación se describe el tipo de luminarias encontradas en los edificios A y B.

En general se comprobó que la mayor parte del sistema de iluminación presenta problemas, debido en primer lugar a que la cantidad de luminarias que se encuentran en cada ambiente no brinda suficiente iluminación, a esto debe agregársele que en muchos de los salones e incluso oficinas, algunas lámparas presentaban problemas en el encendido, esta información se resume en las tablas XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII y XVIII.

Tabla XII. Estado de luminarias.

Revisión visual del alumbrado del edificio A				
Segundo Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido	Descado
Sesiones y Dirección	√		500	300
Cubículos (A)		√	180	300
Vestíbulo (C)	√		200	300
EPS 1 y 2 Cubículos (D)		√	50	200
Mantenimiento	√		100	200
Créditos extracurriculares y Coordinación (219)		√	80	300
Cafetería	√		100	200
Secretarías (2)		√	50	
Sesiones 2 y Sesiones 1	√		110	200
Sesiones 3, Investigación y Reproducción		√	150	300
Coordinador	√		150	300
Coordinación (222)	√		200	300
Vestíbulo (A')		Sin medida		250
Salón de cómputo		√	120	250
Administrador de red		Sin medida		150
Evaluación		√	100	300
Pasillo de evaluación		Sin iluminación		100
Discusión	√		200	300
Pasillo de discusión		Sin iluminación		100
Carreras técnicas (6 cubículos)	√		200	250
Archivo (225)		√	80	150
Pasillo de carreras técnicas.	√		200	125
Sesiones (5)	√		225	300
Tesorero, archivo y Coordinación	√		350	300
Auditor	√		200	300
Sesiones (4)		√	160	300
Prácticas (219)	√		150	300
Secretaría (219)	√		180	300
Cubículo (1)	√		180	300
Bodega		Sin medida		100
Cootizador y auxiliar	√		150	300
Coordinación académica (cafetería)	√		250	100
Pasillo (tesorería y control académico)	√		200	100
SSH (dirección y control académico)		√	10	100
SSM (dirección y control académico)		√	15	100
SSH y SSM (laboratorio de computo)		√	20	100
Lavamanos (laboratorio de computo)	√		100	100
Corredores		√	50	100
Descanso de gradas	√		50	100
Salidas de gradas	√		50	100

Tabla XIII. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio A				
Tercer Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
301, 307, 310, 316		√	150	300
303, 304, 305, 312,313 y 314		√	180	300
302, 306, 311, 315		√	120	300
308, 317, 318		√	150	300
Fotocopiadoras		√	60	500
Sanitarios I		√	12	100
Sanitarios II		√	15	100
Salidas de gradas	√		100	100
Corredores	√		100	100
Descanso de gradas	√		100	100

Tabla XIV. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio A				
Cuarto Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
401, 407, 410		√	150	300
403, 404, 405, 412, 413 y 414		√	220	300
402, 406, 411		√	130	300
408, 409		√	150	300
Sanitarios I		√	100	500
Sanitarios II		√	12	100
Salidas de gradas		√	14	100
Corredores	√		100	100
Descanso de gradas	√		100	100

Tabla XV. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio B				
Primer Nivel				
Salón	Estado de		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
Planta telefónica Servidor y cocina	√		250	200
Administrador y secretaría	√		320	300
Educ. continua	√		300	350
Auditórium	√		350	325
Unade y PEME		√	150	200
Salón de computo Contiguo a biblioteca		√	180	300
Dirección y archivos		√	180	300
AEM		√	250	300
Secretaria y clasificación de libros	√		180	200
Biblio. (estantes)		√	120	300
Biblio. (sala de estudio)		√	120	375
CAE y librería OPS	√		160	150
Entrada principal	√		140	100
Sanitarios contiguos a AEM	√		100	100
Entrada sanitarios	√		100	100
Bodega (1)	√		100	100
Sanitarios	√		100	100
Salidas de gradas	√		100	100
Corredores	√	√	70	100
Descanso de gradas	√		100	100

Tabla XVI. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio B				
Segundo Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
201, 205, 207, 211		√	120	300
202, 203, 204, 208,209 y 210		√	200	300
206 y 212		√	120	300
214		√	150	300
206 ^a , 206B, 212A y 212B		√	80	100
Sanitarios		√	10	100
Salidas de gradas	√		100	100
Corredores	√		100	100
Descanso de gradas	√		100	100

Tabla XVII. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio B				
Tercer Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
301, 307, 310, 316		√	130	300
303, 304, 305, 312,313, y 314		√	120	300
302, 306, 311, 315		√	160	300
308 y 317		√	130	300
308A, 308B, 317A y 317B		√	80	100
Sanitarios		√	15	100
Salidas de gradas	√		100	100
Corredores	√		100	100
Descanso de gradas	√		100	100

Tabla XVIII. Estado de luminarias

Revisión visual del alumbrado del edificio B				
Cuarto Nivel				
Salón	Estado de luminarias		Nivel lumínico promedio	
	Bueno	Defectuoso	Medido (lux)	Deseado
401, 407, 410, 417		√	175	300
403, 404, 405, 412 y 415		√	200	300
402, 406, 411, 416		√	150	300
408, 418		√	150	300
408A, 408B, 418A y 418B		√	80	100
Sanitarios I		√	20	100
Sanitarios II	√		15	100
Salidas de gradas	√		100	100
Corredores		√	50	100
Descanso de gradas		√	75	100

1.3.2. Medición de Luxes

La iluminancia es la medida de la cantidad de flujo luminoso que llega sobre una superficie. Esta es afectada por la intensidad de la fuente luminosa en dirección de la superficie a ser iluminada y del ángulo de incidencia de la luz, la unidad de medida del flujo luminoso es el pie-candela o su equivalente en lux.

Para determinar la cantidad de flujo luminoso sobre una superficie es necesario utilizar un fotómetro el cuál podrá dar lecturas el pie-candela o lux, además en las mediciones realizadas en el Centro Universitario Metropolitano, se tomo una medición promedio, pues la iluminación no es uniforme en ninguno de sus ambientes, esa información se encuentra resumida en las tablas XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII y XVIII y de ellas puede concluirse que los niveles de iluminación son muy bajos para las tareas que deben realizarse en cada ambiente, también se conoció que una gran cantidad de las lámparas se encuentran en mal estado, interruptores dañados y balastros fuera de funcionamiento.

Todo lo anterior contribuye a que no se cumplan los requisitos mínimos de iluminación en la mayor parte del sistema de iluminación.

1.3.3. Textura, colores de techo, piso y paredes

La reflectancia es la razón del flujo reflejado al flujo incidente, los valores medidos de reflectancia dependen de los ángulos de incidencia, y vista y del carácter espectral del flujo incidente, la reflectancia del techo piso y paredes, así como la textura de éstos juegan un importante papel en el cálculos de sistemas de iluminación, por eso, la recomendación es que en un ambiente determinado, se utilicen siempre colores claros, pues ellos tienen altas reflectancias, es decir, entre más claro sea el color de paredes, piso y techo,

menos absorción de luz habrá, y mejorará la reflectancia, la tabla XIX muestra los valores típicos de reflectancia para pared, piso y techo.

Tabla XIX. Reflectancias de pared, piso y techo.

	Color	Coefficientes de reflexión (%)
Claros	Blanco	75 a 85
	Marfil	70 a 75
	Colores pálidos	60 a 70
Semiclaros	Amarillo	55 a 65
	Café claro	45 a 55
	Verde claro	40 a 50
	Gris	30 a 50
Oscuros	Azul	25 a 35
	Rojo	15 a 20
	Café oscuro	10 a 15

En el estudio realizado, se encontró que los colores de pared son claros y el piso y el techo son semiclaros, esto contribuye en cierta forma a que los niveles lumínicos no se vean disminuidos aún más.

1.3.4. Características de las luminarias

El sistema eléctrico de los edificios A y B, del Centro Universitario Metropolitano está constituido en su totalidad por lámparas fluorescentes, este tipo de lámparas son de descarga eléctrica y de mercurio a baja presión, en las que un recubrimiento de fósforo transforma en luz parte de la energía ultravioleta generada por la descarga. Las partes principales de una lámpara fluorescente son: el tubo, electrodos, gas de relleno, recubrimiento de fósforo y bases.

Cuando se aplica el voltaje apropiado a las terminales de la lámpara que se encuentran en sus extremos, la corriente produce un arco al circular entre los electrodos a través del gas de relleno, esta descarga genera alguna radiación visible, principalmente ultravioleta, que a su vez excita el recubrimiento de fósforo para emitir luz.

Estas lámparas se fabrican principalmente de cuatro tipos distintos, dependiendo de sus circuitos de operación:

1. Cátodo caliente, arranque de precalentamiento.
2. Cátodo caliente, arranque instantáneo.
3. Cátodo frío.
4. Lámparas de arranque rápido.

El aumento en el uso de equipo electrónico para procesamiento de datos obligó a dar mayor atención al contenido armónico de sistemas de energía eléctrica. Se sabe que los reactores de lámparas fluorescentes contribuyen a la distorsión armónica total, y desde hace tiempo se ha reconocido que las lámparas fluorescentes producen armónicas que elevan la corriente en el conductor neutro de sistemas de distribución de energía eléctrica trifásica de cuatro hilos, de conexión en estrella, aún cuando las cargas de fase se encuentren razonablemente balanceadas. Existen algunos circuitos viejos donde se utilizan neutros reducidos para cargas de iluminación fluorescente. Sin embargo, desde hace tiempo se han recomendado conductores neutros al 100% de capacidad para circuitos ramales que dan servicio a cargas formadas por más de la mitad de alumbrado fluorescente.

Para mejor funcionamiento, por lo general las lámparas fluorescentes deben operar a voltajes $\pm 10\%$ de sus puntos de operación de diseño.

Si se hacen operar a voltajes más bajos, puede dar como resultado una vida útil más corta y un arranque incierto, y si operan a voltajes más altos, existe el riesgo de sobrecalentamiento del reactor o del transformador así como de acortamiento de la vida útil de la lámpara. Una excepción a lo anterior se encuentra en la operación en serie de lámparas de cátodo frío, en donde una alimentación ajustable de voltaje hace posible la operación, en una amplia escala de niveles de iluminación, es decir, la operación con poco brillo como el que se usa en la iluminación de escenarios.

La falla en una lámpara fluorescente de cátodo caliente es, por lo general, el resultado de la pérdida de material activo del cátodo o cátodos. Esta pérdida avanza gradualmente durante la vida útil de la lámpara y se acelera por el frecuente encendido y apagado. La depreciación de la salida de luz es ocasionada, en esencia, por el ennegrecimiento del tubo y es rápida (hasta el 10%) durante las primeras 100 horas, pero muy gradual de ahí en adelante. Por esta razón, las lámparas se clasifican comercialmente con base en la salida de lúmenes después de 100 horas de operación.

1.4. Instalaciones especiales

1.4.1. Equipo electrónico sensible

Las cargas sensibles no deben energizarse de los mismos circuitos que las cargas inductivas grandes y de interrupción frecuente, como las de elevadores, compresores de aire, etc. Sin embargo, las cargas continuas de motores ayudan a proporcionar cierto efecto de arrastre durante los atrasos de voltaje y las interrupciones momentáneas. Hasta las fotocopiadoras y los refrigeradores pueden afectar las computadoras y otros equipos sensibles.

Las distintas clases de equipo electrónico sensible encontrado al momento de realizar la evaluación en ambos edificios es:

1. Computadoras
2. Fotocopiadoras
3. Equipo de audio y video
4. Escaners

La observación principal es que el equipo descrito anteriormente se encuentra conectado a los circuitos que no han sido diseñados para tal finalidad, por lo que corren el riesgo de ser sometidos a niveles de tensión dañinos, y ser dañados permanentemente.

1.5. Motores eléctricos

1.5.1. Pruebas de aislamiento

Estas son realizadas con la finalidad de comprobar la calidad del aislamiento de los arrollamientos de los motores, y poder determinar así una posible falla que podría dejar a un motor fuera de servicio.

Son realizadas con un megger de aislamiento, y el valor de la resistencia del aislamiento debe ser suficientemente alto, de lo contrario, denotará que el embobinado posee algún grado de humedad o su aislamiento ha sido perforado, siendo necesaria una reparación inmediata.

Los datos de los motores y sus valores de resistencia medidos se listan a continuación.

**Tabla XX. Características principales de motores del CUM.
(Datos tomados de placa si no se indica lo contrario)**

Uso	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (HP)	Velocidad (rpm)	Fases	Eficiencia	F.P	Temp.	Resistencia (medida)
Bombeo Principal	115/208-230	30/16.5-15	3	3450	1	77%	84%	40°C uso continuo	15 MΩ
Bombeo Principal	115/208-230	30/16.5-15	3	3450	1	77%	84%	40°C uso continuo	10 MΩ
Bombeo Principal Auxiliar	208/230	24/23	5	3450	1	75%	88%	40°C uso continuo	17 MΩ
Bombeo edificio A	115/208-230	30/16.5-15	3	3450	1	77%	84%	40°C uso continuo	12 MΩ
Bombeo edificio B	115/208-230	30/16.5-15	3	3450	1	77%	84%	40°C uso continuo	18 MΩ

2. ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

2.1 Cálculo de iluminación

En las actividades diarias se requieren distintos niveles lumínicos, los cuales deben proporcionar comodidad y seguridad a las personas, estos son escogidos de acuerdo a normas internacionales las cuáles estipulan un nivel de iluminación determinado por el tipo de ambiente y la actividad que se realizará, esa clasificación se muestra en la tabla XXI

Tabla XXI. Rangos de iluminancia recomendados según la actividad a realizar

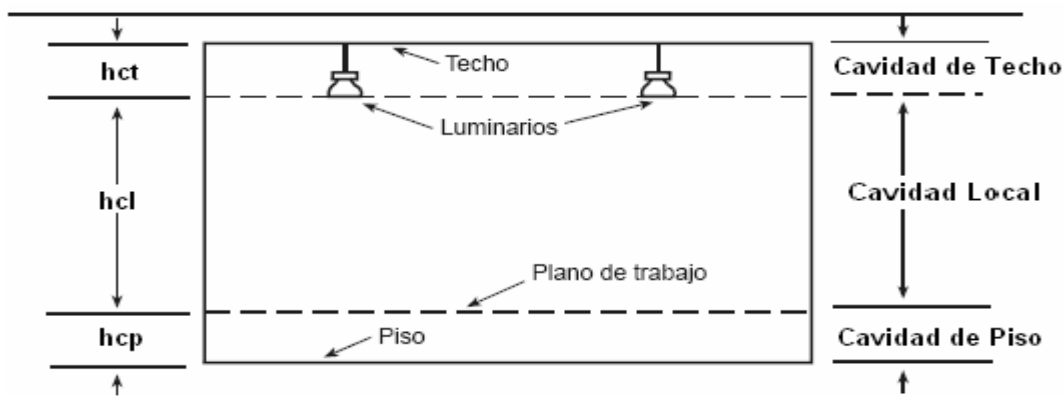
Clases y rangos de valores de iluminación para tipos genéricos de actividades en interiores.				
Tipo de actividad	Clase de Iluminación	Rangos de iluminancias		Plano de trabajo de referencia
		Lux	Bújias-pié	
Espacios públicos con entornos oscuros	A	20 - 30 - 50	2 -3 - 5	Iluminación General en todo el ámbito
Orientación sencilla para visitas breves temporales.	B	50 - 75 - 100	5 - 7.5 - 10	
Espacios de trabajo donde las tareas visuales sólo se llevan a cabo de manera ocasional	C	100 - 150 - 200	10 -15 - 20	
Ejecución de tareas visuales de alto contraste o de tamaño grande	D	200 - 300 -500	20 - 30 -50	Iluminación sobre la tarea
Ejecución de tareas visuales de medio contraste o de tamaño pequeño	E	500 - 750 - 1000	50 - 75 -100	
Ejecución de tareas visuales de bajo contraste o tamaño muy pequeño	F	1000 - 1500 - 2000	100 - 150 - 200	
Ejecución de trabajos visuales de bajo contraste y de tamaño muy pequeño durante un período prolongado de tiempo	G	2000 - 3000 - 5000	200 - 300 - 500	Iluminancia sobre la tarea mediante la combinación de iluminación general y local (Complementaria)
Ejecución de una tarea visual muy prolongada o precisa	H	5000 - 7500 - 10000	500-750-1000	
Ejecución de tareas visuales Muy especiales, con un tamaño Muy pequeño y bajo contraste	I	10000-15000-20000	1000-1500-2000	

Fuente: Guía de selección de productos, Hubbell Lighting.

Existen distintos métodos para diseñar la cantidad y distribución de las luminarias que mejor cumpla con los requerimientos de iluminancia y uniformidad del trabajo, sin embargo, el método de cavidad zonal es el más utilizado actualmente con base en el mejor aprovechamiento del espacio, y otras características del lugar, tales como colores de paredes, altura, tipo de piso, etc.

El fundamento del método de cavidad zonal es que el cuarto se compone de tres espacios o cavidades. El espacio entre el techo y las luminarias, si están suspendidos, se define como la “cavidad del techo”; el espacio entre el plano de trabajo y el piso, la “cavidad del piso”; y el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo, la “cavidad local”, como se muestra en la figura 31.

Figura 31. Representación del método de cavidades zonales.



FUENTE: HOLOPHANE.

Una vez que el concepto de estas cavidades ha sido comprendido, es posible calcular las relaciones numéricas llamadas “de cavidad”, que pueden ser usados para determinar la reflectancia efectiva del techo y el piso y después encontrar el coeficiente de utilización. Hay cuatro pasos básicos en cualquier cálculo de nivel de iluminancia

- 1- Determinar la relación de cavidad
- 2- Determinar las reflectancias de cavidad efectivas
- 3- Seleccionar el coeficiente de utilización
- 4- Computar el nivel de iluminancia promedio

2.1.1. Ejemplo de cálculo de iluminación por el método de cavidad zonal

Una salón de clases mide 10.75 m de largo y 8.8 m de ancho con una altura de techo de 3.25 m. Las reflectancias son: techo 80% (color blanco), paredes 50% (color claro), piso 30% (color gris). Se seleccionan luminarias de envoltura prismática, con dos lámparas T-12, (los coeficientes de utilización se muestran abajo), el plano de trabajo está 0.75 m. arriba del piso. Encuentre la cantidad de luminarias necesarias para una iluminación que se encuentre dentro del rango establecido por las normas internacionales.

Solución.

1. las relaciones de cavidad se calculan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$RCL = \frac{5h_{CL}(L+W)}{L \times W} \quad \text{(Relación de cavidad local)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$RCT = \frac{RCL \times h_{CT}}{h_{CL}} \quad \text{(Relación de cavidad de techo)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$RCP = \frac{RCL \times h_{CP}}{h_{CL}} \quad \text{(Relación de cavidad de piso)} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$h_{CL} = h_T - h_{CP} \quad \text{(Altura de cavidad local)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

h_{CL} = altura de cavidad local (distancia entre el plano de trabajo y la superficie de las luminarias)

h_{CT} = altura de cavidad de techo (distancia del techo a la superficie de las lámparas)

h_{CP} = altura de cavidad de piso (distancia del piso al plano de trabajo)

h_T = altura total

L = largo

W = ancho

Entonces de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 obtenemos:

$$h_{CL} = 3.25 - 0.75 = 2.5$$

$$RCP = \frac{2.58 \times 0.75}{2.5} = 0.77$$

$$RCL = \frac{5(2.5)(10.75 + 8.8)}{10.75 \times 8.8} = 2.58$$

$$RCT = \frac{2.58 \times 0}{2.5} = 0$$

Ahora deben revisarse las reflectancias efectivas del techo y piso, pues estas dependen de la relación de cavidad local, de la relación de cavidad de piso y la relación de cavidad de techo, así:

2. Reflectancia efectiva de techo: 80% pues $RCT = 0$

Reflectancia efectiva de piso: Para esta será necesario interpolar pues $RCP \neq 0$, de la siguiente forma:

En la tabla XXII de reflectancias, localizamos la reflectancia de piso dada (30%), y a continuación, la reflectancia de pared dada (50%), seguido, se localiza la relación de cavidad de piso calculada, $RCP = 0.77$

Tabla XXII. Reflectancias efectivas de cavidad de techo o piso

Tabla de reflectancias efectivas de cavidad de techo o piso																								
Reflectancia de Piso o techo	90				80				70				50				30				10			
Reflectancia De pared	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	65	50	30	10	50	30	10			
0	90	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	10			
0,1	90	89	88	87	79	79	78	78	69	69	68	59	49	48	30	30	29	29	10	10	10			
0,2	89	88	86	85	79	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9			
0,3	89	87	85	83	78	77	75	74	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9			
0,4	88	86	83	81	78	76	74	72	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	11	10	9			
0,5	88	85	81	78	77	75	73	70	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	11	10	9			
0,6	88	84	80	76	77	75	71	68	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9			
0,7	88	83	78	74	76	74	70	66	65	61	58	47	44	42	29	28	26	24	11	10	9			
0,8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8			
0,9	87	81	76	71	75	72	68	63	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8			
1	86	80	74	69	74	71	66	61	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8			
1,1	86	79	73	67	74	71	65	60	62	57	52	46	41	38	29	26	24	21	11	9	8			
1,2	86	78	72	65	73	70	64	58	61	56	50	45	41	37	29	26	23	20	12	9	7			
1,3	85	78	70	64	73	69	63	57	61	55	49	45	40	36	29	26	23	20	12	9	7			
1,4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	54	48	45	40	35	28	26	22	19	12	9	7			
1,5	85	76	68	61	72	68	61	54	59	53	47	44	39	34	28	25	22	18	12	9	7			
1,6	85	75	66	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	28	25	21	18	12	9	7			
1,7	84	74	65	58	71	66	59	52	58	51	44	44	38	32	28	25	21	17	12	9	7			
1,8	84	73	64	56	70	65	58	50	57	50	43	43	37	32	28	25	21	17	12	9	6			
1,9	84	73	63	55	70	65	57	49	57	49	42	43	37	31	28	25	20	16	12	9	6			
2	83	72	62	53	69	64	56	48	56	48	41	43	37	30	28	24	20	16	12	9	6			
2,1	83	71	61	52	69	63	55	47	56	47	40	43	36	29	28	24	20	16	13	9	6			
2,2	83	70	60	51	68	63	54	45	55	46	39	42	36	29	28	24	19	15	13	9	6			
2,3	83	69	59	50	68	62	53	44	54	46	38	42	35	28	28	24	19	15	13	9	6			
2,4	82	68	58	48	67	61	52	43	54	45	37	42	35	27	28	24	19	14	13	9	6			
2,5	82	68	57	47	67	61	51	42	53	44	36	41	34	27	27	23	18	14	13	9	6			
2,6	82	67	56	46	66	60	50	41	53	43	35	41	34	26	27	23	18	13	13	9	5			
2,7	82	66	55	45	66	60	49	40	52	43	34	41	33	26	27	23	18	13	13	9	5			
2,8	81	66	54	44	66	59	48	39	52	42	33	41	33	25	27	23	18	13	13	9	5			
2,9	81	65	53	43	65	58	48	38	51	41	33	40	33	25	27	23	17	12	13	9	5			
3	81	64	52	42	65	58	47	38	51	40	32	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5			
3,1	80	64	51	41	64	57	46	37	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5			
3,2	80	63	50	40	64	57	45	36	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5			
3,3	80	62	49	39	64	56	44	35	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5			
3,4	80	62	48	38	63	56	44	34	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5			
3,5	79	61	48	37	63	55	43	33	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5			
3,6	79	60	47	36	62	54	42	33	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5			
3,7	79	60	46	35	62	54	42	32	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4			
3,8	79	59	45	35	62	53	41	31	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4			
3,9	78	59	45	34	61	53	40	30	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4			
4	78	58	44	33	61	52	40	30	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4			
4,1	78	57	43	32	60	52	39	29	46	35	25	37	28	20	26	21	14	9	13	8	4			
4,2	78	57	43	32	60	51	39	29	46	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4			
4,3	78	56	42	31	60	51	38	28	45	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4			
4,4	77	56	41	30	59	51	38	28	45	34	24	37	27	19	26	20	14	8	13	8	4			
4,5	77	55	41	30	59	50	37	27	45	33	24	37	27	19	25	20	14	8	14	8	4			
4,6	77	55	40	29	59	50	37	26	44	33	24	36	27	18	25	20	14	8	14	8	4			
4,7	77	54	40	29	58	49	36	26	44	33	23	36	26	18	25	20	13	8	14	8	4			
4,8	76	54	39	28	58	49	36	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	8	14	8	4			
4,9	76	53	38	28	58	48	35	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	7	14	8	4			
5	76	53	38	27	57	48	35	25	43	32	22	36	26	17	25	19	13	7	14	8	4			

Fuente: Rodolfo Koenigsberger

Debido a que la RCP calculada no se encuentra de forma exacta en la tabla, será necesario realizar una interpolación para calcular el valor que hace falta con la ecuación 5

$$e = \frac{(f - d)(b - a)}{(c - a)} + d \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: a y c son los valores extremos, en medio de los cuales se encuentra b (RCP calculada para este caso particular), en otras palabras a = 0.7, b = 0.77 y c = 0.8

d y f son valores extremos, en medio de los cuales se encuentra e (valor buscado), d = 28 y f=27.

Interpolando estos valores se obtiene: $e = \frac{(27 - 28)(0.77 - 0.7)}{(0.8 - 0.7)} + 28 = 27.3\%$

Las tablas de coeficientes de utilización están diseñadas para una reflectancia efectiva de piso de 20%, si esta se encuentra por encima o debajo de este valor, será necesario aplicar un factor de corrección al coeficiente de utilización calculado (regularmente se aplica para reflectancias efectivas que alcanzan un $\pm 5\%$ del valor para el cual están diseñadas las tablas).

El factor de corrección se calcula por medio de la tabla XXIII. Haciendo interpolaciones cuando es necesario, así:

Factor de corrección:

En la tabla XXIII de factores de corrección se localiza la reflectancia efectiva de techo y la reflectancia de pared dada, a continuación se ubica el valor de RCL y se lee el factor de corrección resultante o se interpola, según sea necesario,

Tabla XXIII. Factores de corrección del C.U para reflectancias efectivas de cavidad del suelo diferentes al 20%.

Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 80%										
Reflectancia de pared %	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	1.08	1.07	1.05	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02
30	1.08	1.06	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
10	1.07	1.05	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

Fuente: Instalaciones eléctricas, Neagu Bratu Serbán, pagina 73.

En este caso, RCL = 2.58, entonces se interpola:

$$\begin{aligned}
 a &= 2 & d &= 1.07 \\
 b &= 2.58 & e &= ? \\
 c &= 3 & f &= 1.05 \\
 e &= 1.058 \approx 1.06
 \end{aligned}$$

3. Coeficiente de utilización:

Este coeficiente también viene dado por tablas que proporciona cada fabricante de luminarias, para este caso, se tiene la tabla XXIV, donde es utilizada la RCL, la reflectancia efectiva de techo y la reflectancia de pared dada, así:

Tabla XXIV. Coeficientes de utilización.

2 lámparas T-12. Envoltura prismática 30 cm de ancho									
Categoría V h= 1.2 (separación no mayor a h por altura de montaje.)									
Coeficientes de utilización									
Reflectancia de techo	80			70			50		
Reflectancia de pared	50	30	10	50	30	10	50	30	10
RCL									
1	0.68	0.65	0.63	0.65	0.63	0.61	0.61	0.6	0.58
2	0.6	0.56	0.53	0.58	0.55	0.52	0.55	0.52	0.49
3	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.5	0.46	0.43
4	0.49	0.43	0.4	0.47	0.43	0.39	0.45	0.41	0.38
5	0.44	0.38	0.34	0.43	0.38	0.34	0.4	0.36	0.33
6	0.4	0.34	0.3	0.39	0.34	0.3	0.37	0.32	0.29
7	0.36	0.31	0.27	0.35	0.3	0.26	0.33	0.29	0.26
8	0.32	0.27	0.24	0.32	0.27	0.23	0.3	0.26	0.23
9	0.29	0.24	0.21	0.29	0.24	0.2	0.27	0.23	0.2
10	0.27	0.22	0.18	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18

Fuente: Instalaciones eléctricas, Neagu Bratu Serbán, pagina 64.

En la tabla de coeficientes de utilización de la luminaria seleccionada, se localiza la reflectancia efectiva de techo calculada, a continuación se localiza también la reflectancia de pared dada, y se lee directamente el coeficiente de utilización, o se interpola si es necesario.

De la tabla anterior, se observa que:

$$\begin{array}{ll} a = 2 & d = 0.60 \\ b = 2.58 & e = ? \\ c = 3 & f = 0.54 \\ & e = 0.565 \end{array}$$

Aplicando entonces el factor de corrección, se obtiene:

$$CU = (0.565)(1.06) = 0.598$$

4. Este valor de coeficiente de utilización puede emplearse para calcular el número de luminarias necesarias para iluminar el ambiente propuesto por medio de la utilización de la ecuación 6

$$N = \frac{E \times A}{\text{lumen/lamp} \times \text{lamp/luminaria} \times CU \times FPT}$$

Ecuación 6

Donde:

E = Nivel de iluminación deseada en Lux

A = Área a iluminar

Lumen/lamp = Cantidad de lúmenes por lámpara iniciales

Lamp/luminaria = Cantidad de lámparas por luminaria utilizada

CU = Coeficiente de utilización

FPT = Factor de pérdidas totales

De todos los datos necesarios para la solución del problema, faltan dos por tratar, el nivel de iluminación deseada y el factor de pérdidas totales.

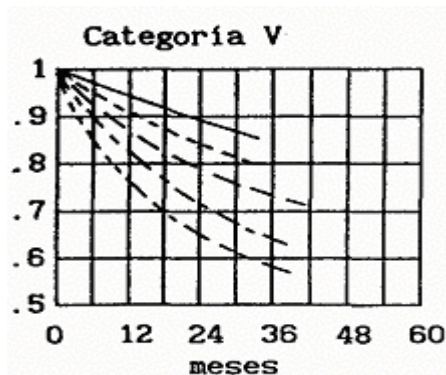
Factor de pérdidas totales.

Se encuentra comprendido por varios factores parciales que influyen en la pérdida del nivel de iluminación de diseño, agrupa a ocho factores los que se detallan a continuación, algunos solamente son aproximaciones, otros se han obtenido de tablas proporcionadas por los fabricantes.

1. Factor de balastro0.95
2. Variación de la reflectancia de la luminaria.....0.98
3. Degradación luminosa de la lámpara.....0.90
4. Disminución de emisión luminosa por suciedad.....0.90

La disminución de la emisión luminosa por suciedad es obtenida por la figura 32, la cual es válida para lámparas de categoría V.

Figura 32. Disminución luminosa en lámparas categoría V en función del grado de suciedad y el tiempo transcurrido entre limpiezas consecutivas.



Fuente: Instalaciones eléctricas, Neagu Bratu Serbán, página 32.

Grados de suciedad:

1. ————— Muy limpio: Laboratorios y hospitales
2. - - - - Limpio: Escuelas, oficinas y viviendas.
3. _ _ _ _ Medio: Oficinas dentro de fábricas.
4. - . - . - Sucio: Industrias
5. _ . . _ Muy sucio: Procesos altamente contaminantes

La disminución luminosa por suciedad es 0.98, para un período de limpieza de 12 meses y un grado de suciedad limpio.

$$FPT = 0.98 \times 0.95 \times 0.90 \times 0.90 = 0.75$$

Los datos restantes son obtenidos mediante datos del fabricante.

A continuación se muestran las tablas XXV y XXVI donde se encuentra información relacionada a datos técnicos de balastos y lámparas.

Tabla XXV. Datos de desempeño de lámparas fluorescentes

Datos de Rendimiento de Lámparas Fluorescentes

Longitud (pies)	Lámpara	Color	Consumo (watts)	Lúmenes iniciales	Lúmenes promedio	Tiempo de vida	Depreciación de lúmenes	
T12								
1 1/2	F15T12/WW	WARM-3000K	15	800	670	9000	.84	53
1 1/2	F15T12/CW	COOL-4100K	15	800	695	9000	.87	62
2	F20T12/WW	WARM-3000K	20	1250	1100	9000	.88	53
2	F20T12/CW	COOL-4100K	20	1200	1050	9000	.88	62
3	F30T12/WW/RS	WARM-3000K	30	2300	1950	18,000	.85	53
3	F30T12/CW/RS	COOL-4100K	30	2250	1900	18,000	.84	62
4	F40SPEC30	WARM-3000K	40	3200	2880	20,000+	.90	70
4	F40SPEC35	MID-3500K	40	3200	2880	20,000+	.90	73
4	F40SPEC41	COOL-4100K	40	3200	2880	20,000+	.90	70
4	F40WW/RS/EW	WARM-3000K	34	2700	2350	20,000+	.87	53
4	F40LW/RS/EW	LITE-4100K	34	2750	2400	20,000+	.87	51
4	F40CW/RS/EW	COOL-4100K	34	2650	2300	20,000+	.87	62
4	F48T12/CW	COOL-4100K	30	2400	2150	9000	.90	62
6	F72T12/WW	WARM-3000K	56	4450	3900	12,000	.88	53
6	F72T12/CW	COOL-4100K	56	4450	3900	12,000	.88	62
8	F96T12/WW/EW	WARM-3000K	60	5500	4850	12,000	.88	53
8	F96T12/CW/EW	COOL-4100K	60	5400	4750	12,000	.88	62
4	F48T12/WW/HO	WARM-3000K	60	4250	3830	12,000	.90	53
4	F48T12/CW/HO	COOL-4100K	60	4050	3500	12,000	.86	62
6	F72T12/WW/HO	WARM-3000K	85	6500	5700	12,000	.88	53
6	F72T12/CW/HO	COOL-4100K	85	6350	5500	12,000	.87	62
8	F96T12/WW/HO/EW	WARM-3000K	95	8100	7050	12,000	.87	53
8	F96T12/CW/HO/EW	COOL-4100K	95	8000	6950	12,000	.87	62
8	F96T12/CW/HO	COOL-4100K	110	9200	7650	12,000	.83	62
4	F48T12CW/VHO	COOL-4100K	110	7050	4950	12,000	.70	62
6	F72T12CW/VHO	COOL-4100K	160	11,250	7850	12,000	.70	62
8	F96T12/CW/VHO/EW	COOL-4100K	185	14,200	9900	12,000	.70	62
8	F96T12WW/VHO	WARM-3000K	215	15,700	11,200	12,000	.71	53
8	F96T12CW/VHO	COOL-4100K	215	15,200	10,700	12,000	.70	62

Fuente: Guía de selección de productos, Hubbell Lighting, página 349 y 350.

Tabla XXVI. Datos de lámparas fluorescentes y balastos

Datos de Lámparas Fluorescentes y Balastos

tipo de lámpara	Número de lámpara	Consumo de lámpara (watts)	No. de lamp.	Tipo de balastro	Nivel de ruido	Entrada típica de potencia (watts)	Coeficiente nominal a 120V	Coeficiente nominal a 277V	Armónicos	Factor de balastro
T12 Magnético										
Trigger Start	F20T12	20	1	Standard-NPF	A	26	0.58	N/A	<30	0.72
	F20T12	20	2	Standard-NPF	A	40	0.55	N/A	<30	0.73
	F20T12	20	1	Standard	A	26	0.27	0.12	<20	0.78
	F20T12	20	2	Standard	A	53	0.47	0.2	<30	0.73
Rapid Start	F40T12	40	1	STD.-NPF	A	35	0.65	N/A	<10	0.7
	F40T12	40	2	STD.-NPF	A	65	0.58	N/A	<20	0.7
	F40T12	40	1	Standard	A	56	0.48	0.2	<30	0.95
	F40T12	40	2	Standard	A	96	0.8	0.36	<30	0.95
	F40T12	40	1	Energy Saving	A	50	0.43	0.2	<20	0.95
	F40T12	40	2	Energy Saving	A	86	0.73	0.32	<20	0.95
	F40T12	34	1	STD.-NPF	A	35	0.65	N/A	<10	0.7
	F40T12	34	2	STD.-NPF	A	65	0.58	N/A	<20	0.7
	F40T12	34	1	Standard	A	48	0.48	0.2	<30	0.88
	F40T12	34	2	Standard	A	79	0.8	0.36	<30	0.88
	F40T12	34	1	Energy Saving	A	38	0.38	0.16	<10	0.88
	F40T12	34	2	Energy Saving	A	72	0.63	0.27	<10	0.88
Slimline	F48T12	39	1	Standard	C	61	0.55	0.92	<30	0.95
	F48T12	39	1	Standard	B	102	0.92	0.39	<30	0.95
	F72T12	57	1	Energy Saving	C	72	0.85	0.35	<30	0.9
	F72T12	57	2	Energy Saving	C	142	1.35	0.6	<30	0.95
	F96T12	75	1	Standard	C	90	0.85	0.35	<30	0.93
	F96T12	75	2	Standard	B	180	1.65	0.67	<30	0.93
	F96T12	60	2	Energy Saving	C	158	1.35	0.6	<30	0.94
	F96T12	60	1	Energy Saving	C	78	0.75	0.35	<30	0.88
F96T12	60	2	Energy Saving	C	123	1.1	0.47	<30	0.88	
High Output	F48T12HO	60	1	Standard	C	82	0.75	0.32	<20	0.95
	F48T12HO	60	2	Standard	B	138	1.17	0.56	<20	0.96
	F48T12HO	60	1	Standard	C	80	0.68	0.32	<20	0.91
	F48T12HO	60	2	Standard	B	138	1.4	0.56	<20	0.94
	F72T12HO	87	1	Standard	C	105	1.3	0.6	<15	0.94
	F72T12HO	87	2	Standard	C	192	1.65	0.72	<15	0.92
	F96T12HO	112	1	Standard	C	135	1.3	0.6	<15	0.94
	F96T12HO	112	2	Standard	B	257	2.15	0.93	<20	0.98
	F96T12HO	112	2	Standard	C	237	2.05	0.88	<20	0.96
	F96T12HO	95	1	Standard	B	112	1.1	0.48	<20	0.9
	F96T12HO	95	2	Standard	B	227	2.05	0.88	<20	0.92
	F96T12HO	95	2	Energy Saving	C	207	1.85	0.8	<20	0.92
	F96T12HO	215	1	Standard	D	230	2.1	0.88	<20	0.93
	F96T12HO	215	2	Standard	D	375	3.3	1.35	<20	0.98

Fuente: Guía de selección de productos, Hubbell Lighting, página 348.

Niveles de iluminación.

Como se menciona anteriormente, éstos dependen de la actividad a realizar y se encuentran normalizados por IESNA, y su adecuada selección dará como resultado ambientes confortables y seguros.

Se procede entonces a calcular el número de luminarias necesarias para un nivel determinado de iluminación, por medio de la ecuación 6 con la actividad que se realizará en el ambiente catalogada como tareas visuales de alto contraste o medidas largas, (categoría D: 200 – 300 – 500 lux, según tabla XXI) se selecciona un nivel medio de 350 lux.

$$N = \frac{350 \times 94.6}{3200 \times 2 \times 0.598 \times 0.75} = 11.53 \approx 12 \text{ lámparas.}$$

Comprobación del nivel de iluminación.

Se comprueba por medio de la ecuación 7

$$E = \frac{N \times \text{lumen/lamp} \times \text{lamp/lu min aria} \times CU \times FPT}{A}$$

Ecuación 7

$$E = \frac{12 \times 2 \times 3200 \times 0.598 \times 0.75}{94.6} = 364.10 \text{ lux.}$$

2.2 Cálculo de lúmenes

El flujo real será calculado con la ecuación 8

$$\phi_{real} = N \times \text{lamp/lu min aria} \times \text{lumen/lamp} \times CU \times FPT$$

Ecuación 8

$$\phi_{real} = 12 \times 2 \times 3200 \times 0.598 \times 0.75 = 34444.8 \text{ lúmenes.}$$

Separación entre lámparas.

Por recomendación del fabricante, la separación entre lámparas no deberá ser mayor a 1.2 por la altura efectiva comprendida desde el plano de trabajo hasta la superficie de la lámpara, así:

$$\text{Separación entre lámparas} = 1.2 \times (3.25 - 0.75) = 3 \text{ mt.}$$

2.3 Tabulación de los cálculos realizados para los cuatro niveles de los edificios A y B, del Centro Universitario Metropolitano

En general, para el cálculo de la iluminación se utilizó el método descrito anteriormente, a continuación se presentan todos los valores obtenidos en dicho cálculo.

Tabla XXVII. Cálculo de iluminación, Edificio A, primer nivel, CUM

Primer nivel, edificio A, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. Lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Clínicas Psicológicas	300	3,47	2,82	9,785	0,3	2 (2x40)	3168	2,5	3
Bodega No. 4	150	2,8	2,8	7,84	0,29	1 (2x40)	1401,6	2,5	4
Sanitario de niñas	100	4,1	1,7	6,97	0,33	1 (1x40)	844,8	2,25	3,6
Sanitario de niños	100	3,1	2,95	9,145	0,35	1 (1x40)	896	2,25	3,6
Pasillo 2	100	3,67	1,65	6,056	0,3	1 (1x40)	768	2,25	3,6
Pasillo clínicas Psicológicas	100	14,8	1,65	24,42	0,36	3 (1x40)	2764,8	3,25	5,2
Pasillo 1	100	10,26	1,65	16,93	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,25	3,6
Bodega No. 1	150	3,93	2,55	10,02	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,5	4
Clínicas Psicológicas (2)	300	3,86	3,93	15,17	0,39	3 (2x40)	5673,6	2,5	3
Pasillo 0	100	4,88	2,55	12,44	0,41	2 (1x40)	1968	2,25	3,6
Pasillo Psicomotricidad	100	9	1,75	15,75	0,37	2 (1x40)	1776	2,25	2,7
Psicomotricidad	200	8,8	6,95	61,16	0,555	6 (2x40)	15984	2,5	3

Primer nivel, edificio A, CUM (Continuación)									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Espera 1	150	4,9	4,8	23,52	0,41	2 (2x40)	3936	2,25	2,7
Admisión y Secretaría	300	6,27	4,6	28,84	0,473	4 (2x40)	9081,6	2,5	3
Clínicas Psicológicas (1)	300	3,3	3,23	10,66	0,345	2 (2x40)	3312	2,5	3
Espera 2	300	9,2	2,53	23,28	0,413	4 (2x40)	7929,6	2,25	2,7
Entrada principal	150	9	7,2	64,8	0,51	4 (2x40)	9792	3,25	3,9
Información	300	2,8	2,8	7,84	0,292	2 (2x40)	2803,2	2,5	3
Librería	200	7,15	3,47	24,81	0,426	3 (2x40)	6134,4	2,5	3
Auditorium	300	28,4	8,8	249,9	0,654	24 (2x40)	75341	2,5	3

Tabla XXVIII. Cálculo de iluminación, Edificio A, segundo nivel, CUM

Segundo nivel, edificio A, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura efectiva (m)	distancia de Montaje (m)
Sesiones y Dirección	300	10,65	6,55	69,76	0,58	8 (2x40)	22272	2,5	3
Cubículos (A)	300	4,2	4,1	17,22	0,45	3 (2x40)	6480	2,35	2,82
Vestíbulo (C)	300	9	5,55	49,95	0,54	6 (2x40)	15552	2,35	2,82
Oficina (B)	300	6,55	4	26,2	0,45	4 (2x40)	8640	2,35	2,82
EPS 1 y 2 Cubículos (D)	200	3,3	2,4	7,92	0,306	1 (2x40)	1468,8	2,35	2,82
Mantenimiento	200	4,9	3,8	18,62	0,42	2 (2x40)	4032	2,35	2,82
Créditos extracurriculares y Coordinación (219)	300	3,35	3,35	11,22	0,36	2 (2x40)	3456	2,35	2,82
Cafetería	200	4,2	3,15	13,23	0,38	2 (2x40)	3648	2,35	2,82
Secretarías (2)	300	4	3	12	0,384	3(2x40)	5529,6	2,35	2,82
Sesiones 2	200	6,8	3,4	23,12	0,43	3 (2x40)	6192	2,35	2,82
Sesiones 1	300	6,25	5	31,25	0,48	4 (2x40)	9126	2,35	2,82
Coordinador Coordinación (222)	300	4,75	2,4	11,4	0,345	2 (2x40)	3312	2,35	2,82
Vestíbulo (A')	250	8,4	4,75	39,9	0,52	4 (2x40)	9984	2,35	2,82
Salón de cómputo	250	9	6,5	58,5	0,56	6 (2x40)	16128	2,35	2,82
Administrador de red	150	4	2,2	8,8	0,53	1 (2x40)	2544	2,35	2,82
Evaluación	300	6,9	4	27,6	0,458	4 (2x40)	8793,6	2,35	2,82
Pasillo de evaluación	100	5	1,6	8	0,31	1 (1x40)	793,4	3,25	5,2

Segundo nivel, edificio A, CUM. (Continuación)									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura efectiva (m)	distancia de Montaje (m)
Discusión	300	10,9	3,7	40,33	0,48	6 (2x40)	13824	2,35	2,82
Pasillo de discusión	100	6,1	2,4	14,64	0,28	1 (2x40)	1344	3,25	3,9
Carreras técnicas (6 cubículos)	250	2,2	2,2	4,84	0,27	1 (2x40)	1296	2,35	2,82
Archivo (225)	150	6,9	4,5	31,05	0,54	4 (1x40)	5529,6	2,35	3,76
Pasillo de carr. Tec.	125	7,8	2,4	18,72	0,35	3 (1x40)	2688	2,35	3,76
Sesiones (5)	300	6,53	4,12	26,9	0,46	4 (2x40)	8832	2,35	2,82
Tesorero, archivo y Coordinación	300	4,3	2,8	12,04	0,364	2 (2x40)	3494,4	2,35	2,82
Auditor	300	3,75	2,6	9,75	0,334	2 (2x40)	3206,4	2,35	2,82
Sesiones (4)	300	4,55	3,7	16,84	0,41	2 (2x40)	3936	2,35	2,82
Prácticas (219)	300	6,3	4,45	28,04	0,465	3 (2x40)	6696	2,35	2,82
Secretaría (219)	300	6,3	3,1	19,53	0,414	3 (2x40)	5961,6	2,35	2,82
Cubículo (1)	200	2,9	3,1	9	0,328	2 (2x40)	1574,4	2,35	2,82
Bodega	100	6,6	6,5	42,9	0,62	3 (1x40)	4761,6	2,35	3,76
Cootizador y auxiliar	300	7,15	4,25	30,39	0,47	4 (2x40)	9024	2,35	2,82
Coordinación Académica (cafetería)	100	6,3	2,65	16,7	0,43	3 (1x40)	3302,4	2,35	3,76
Pasillo (tesorería y control académico)	100	10	2,4	24	0,36	3 (1x40)	2764,8	3,25	5,2
SSH (dirección y control académico)	100	3,8	1,8	6,84	0,35	1 (1x40)	840	3,25	5,2
SSM (dirección y control académico)	100	4,5	2,6	11,7	0,44	1 (1x40)	1056	3,25	5,2
SSH y SSM (lab. computo)	100	4,6	4,5	20,7	0,47	1 (1x40)	2256	3,25	5,2
Lavamanos (lab. Computo)	100	5	1,6	8	0,35	1 (1x40)	896	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Sesiones 3, investigación y reproducción	300	6.15	5.4	33.21	0.49	4 (2x40)	9408	2.35	2.8

Tabla XXIX. Cálculo de iluminación, Edificio A, tercer nivel, CUM

Tercer nivel, edificio A, CUM.									
Salones	Nivel Lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
301, 307, 310, 316	300	11,65	6,5	75,73	0,567	8 (2x40)	21773	2,5	3
303, 304, 305, 312, 313, 314	300	8,8	11,65	102,5	0,604	12 (2x40)	34790	2,5	3
302, 306, 311, 315	300	9,9	5	49,5	0,525	6 (2x40)	15120	2,5	3
308, 317, 318	300	9,85	4,35	42,85	0,52	6 (2x40)	14976	2,5	3
fotocopiadoras	500	9,85	4,35	42,85	0,52	4 (4x40)	19968	2,5	3
Sanitarios I	100	5	3,3	16,5	0,39	2 (1x40)	1996,8	2,35	3,76
Sanitarios II	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

Tabla XXX. Cálculo de iluminación, Edificio A, cuarto nivel, CUM

Cuarto nivel, edificio A, CUM.									
Salones	Nivel Lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
401, 407, 410	300	11,65	6,5	75,73	0,567	8 (2x40)	21773	2,5	3
403, 404, 405, 412, 413, 414	300	8,8	11,65	102,5	0,604	12 (2x40)	34790	2,5	3
402, 406, 411	300	9,9	5	49,5	0,525	6 (2x40)	15120	2,5	3
408, 409	300	9,85	4,35	42,85	0,52	6 (2x40)	14976	2,5	3
Sanitarios I	100	5	3,3	16,5	0,39	2 (1x40)	1996,8	2,35	3,76
Sanitarios II	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

Tabla XXXI. Cálculo de iluminación, Edificio B, primer nivel, CUM

Primer nivel, edificio B, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Planta telefónica	200	2,7	3,2	8,64	0,33	1 (2x40)	1584	2,35	2,82
Servidor y cocina	200	2,7	3,2	8,64	0,33	1 (2x40)	1584	2,35	2,82
Administrador y secretaria	300	4,5	4,4	19,8	0,43	3 (2x40)	6192	2,35	2,82
Educ. continua	350	10,7	9	96,3	0,614	12 (2x40)	35366	2,35	2,82
Auditorio	325	11,6	9	104,4	0,61	12 (2x40)	35136	2,35	2,82
Unade y PEME	200	9	4,5	40,5	0,5	4 (2x40)	9600	2,35	2,82
Salón de computo Contiguo a biblio.	300	6,5	3	19,5	0,41	3 (2x40)	5904	2,35	2,82
Dirección y archivos	300	3,5	2,5	8,75	0,32	2 (2x40)	3072	2,35	2,82
AEM	300	4,7	5,9	27,73	0,47	4 (2x40)	9024	2,35	2,82
Secretaria y clasif de libros	200	5	3,5	17,5	0,41	2 (2x40)	3936	2,35	2,82
Biblio. (estantes)	300	17	9	153	0,64	15 (2x40)	46080	2,35	2,82
Biblio. (sala de estudio)	375	22	9	198	0,65	24 (2x40)	84240	2,35	2,82
CAE y librería OPS	150	4	3	12	0,37	1 (2x40)	1776	2,35	2,82
Entrada principal	100	9	9	81	0,51	4 (2x40)	9792	2,35	2,82
Sanitarios contig a AEM	100	3	2,5	7,5	0,32	1 (1x40)	768	2,35	3,76
Entrada sanitarios	100	3,5	1,65	5,775	0,65	1 (1x40)	1464	2,35	2,82
Bodega (1)	100	5,3	1,5	7,95	0,3	1 (1x40)	768	2,35	2,82
Sanitarios	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

Tabla XXXII. Cálculo de iluminación, Edificio B, segundo nivel, CUM

Segundo nivel, edificio B, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Salones: 201, 205, 207, 211	300	10,75	10,75	115,6	0,62	12 (2x40)	35712	2,5	3
202, 203, 204, 208 209, 210	300	10,75	8,8	94,6	0,592	12 (2x40)	34387	2,5	3
206 y 212	300	8,95	8,8	78,76	0,579	9 (2x40)	25013	2,5	3
214	300	8,8	11,65	102,5	0,604	12 (2x40)	34790	2,5	3
206A, 206B, 212A, 212B	100	3,1	1,8	5,58	0,278	1 (1x40)	793,6	2,5	3
Sanitarios	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

Tabla XXXIII. Cálculo de iluminación, Edificio B, tercer nivel, CUM

Tercer nivel, edificio B, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Salones: 301, 307, 310, 316	300	11,65	6,5	75,73	0,567	8 (2x40)	21773	2,5	3
303, 304, 305, 312 313, 314	300	8,8	11,65	102,5	0,604	12 (2x40)	34790	2,5	3
302, 306, 311, 315	300	9,9	5	49,5	0,525	6 (2x40)	15120	2,5	3
308 y 317	300	9,85	8,8	86,68	0,59	9 (2x40)	25488	2,5	3
308A, 308B, 317A y 317B	100	3,1	1,8	5,58	0,278	1 (1x40)	793,6	2,5	3
Sanitarios I	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Sanitarios II	100	5	3,3	16,5	0,39	2 (1x40)	1996,8	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

Tabla XXXIV. Cálculo de iluminación, Edificio B, cuarto nivel, CUM

Cuarto nivel, edificio B, CUM.									
Ambiente	Nivel lumínico (lux)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	CU	No. lámparas	Flujo (lúmen)	Altura Efectiva (m)	distancia de montaje (m)
Salones: 401, 407, 410, 417	300	11,65	6,5	75,73	0,567	8 (2x40)	21773	2,5	3
403, 404, 405, 412 415	300	8,8	11,65	102,5	0,604	12 (2x40)	34790	2,5	3
402, 406, 411, 416	300	9,9	5	49,5	0,525	6 (2x40)	15120	2,5	3
408, 418	300	9,85	8,8	86,68	0,59	9 (2x40)	25488	2,5	3
408A, 408B, 418A, 418B	100	3,1	1,8	5,58	0,278	1 (1x40)	793,6	2,5	3
Sanitarios I	100	5	3,3	16,5	0,39	2 (1x40)	1996,8	2,35	3,76
Sanitarios II	100	3	4,5	13,5	0,36	2 (1x40)	1843,2	2,35	3,76
Salidas de gradas	100	9	2	18	0,309	2 (1x40)	1582,1	3,25	5,2
Corredores	100	9	2,8	25,2	0,387	3 (1x40)	2972,2	3,25	5,2
Descanso de gradas	100	5,2	2,6	13,52	0,279	1 (2x40)	1339,2	3,4	4,08

2.4 Cálculo de conductores

El cálculo apropiado de los conductores permite el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos, y a la vez proporciona la información necesaria para reducir la inversión económica al diseñar un proyecto.

Para este diseño se utilizara el método de las secciones constantes en todo el alimentador, el cual se basa en calcular el calibre del conductor que alimentará las cargas cualquiera que sea su naturaleza, basándose en el criterio de la caída de tensión.

Considerando entonces una caída de tensión del 3% del tablero a la carga, por normas, para los circuitos de iluminación y fuerza, y tomando en cuenta que debe mantenerse constante se aplica la ecuación 9, la cuál se encuentra enunciada en función de la potencia.

$$e = \frac{2 \cdot c}{S_{cu} V^2} \sum_{j=1}^{j=n-1} L \cdot P \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

e= porcentaje de caída de tensión

c= 2 para circuitos monofásicos y $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos

L= longitud entre cargas conectadas

P= potencia de cada carga conectada

S_{cu} = Sección transversal del cable seleccionado

V= voltaje de alimentación

2.4.1 Ejemplo de cálculo de conductores

En un circuito se tienen 10 lámparas fluorescentes de 2X40 watts cada una, su consumo es de 0.80 amperios por información obtenida de la tabla 6 proporcionada por el fabricante, las distancias entre ellas son: 3m, 2.5m, 4m, 3.75m, 2.5m, 7m, 4m, 3.20m, 4m y la distancia entre la lámpara más cercana al tablero de distribución y este es de 8m, la tensión nominal es de 120 voltios, y es aceptable un 3% de caída de tensión.

Solución

La corriente total que circulará por el circuito es:

$$I_t = 0.80 \times 10 = 8Amp$$

Con ésta corriente, un conductor de calibre 16 AWG, según la tabla XXXV es útil pues tiene una ampacidad de 18 amperios, sin embargo, es necesario comprobar la caída de tensión que se producirá si se toma ese calibre de conductor, por medio de la ecuación 9, la cuál no deberá exceder el 3% de la tensión nominal.

$$e = \frac{2 \cdot 2 \cdot 80}{(1.31)(120)^2} [(1 \times 3) + (2 \times 2.5) + (3 \times 4) + (4 \times 3.75) + (5 \times 2.5) + (6 \times 7) + (7 \times 4) + (8 \times 3.2) + (9 \times 4) + (10 \times 8)]$$

$$e = \frac{320}{18864} [259.1]$$

$$e = 4.39\%$$

Sin embargo, la caída de tensión excede el 3% de la tensión nominal, por lo que deberá escoger un calibre con una sección mayor, por ejemplo puede seleccionarse un conductor de calibre 14 AWG, el cual tiene una ampacidad de 25 amperios, y realizando nuevamente el cálculo de la caída de tensión obtenemos:

$$e = \frac{2 \cdot 2 \cdot 80}{(2.08)(120)^2} [(1 \times 3) + (2 \times 2.5) + (3 \times 4) + (4 \times 3.75) + (5 \times 2.5) + (6 \times 7) + (7 \times 4) + (8 \times 3.2) + (9 \times 4) + (10 \times 8)]$$

$$e = \frac{320}{29952} [259.1]$$

$$e = 2.77\%$$

Como puede observarse, el 2.77% es aceptable, con lo cual concluimos que el conductor 14 AWG es el apropiado para éste circuito. En las tablas XXXV, XXXVI, XXXVII y XXXVIII se encuentran descritos los datos de caída de tensión y calibres de conductores para los edificios A y B, del CUM.

Tabla XXXV. Calibres, protecciones y cantidad de luminarias por circuito, edificio A

Cálculo de conductores para el edificio A, iluminación.					
Tablero secundario A1					
Circuito	No. Lámparas	Conductor (AWG)	Máxima caída de tensión (%)	Corriente (A)	Protección (A)
A	15 (2X40)	12	2,43	12	15
B	12 (2X40)	12	2,86	9,6	15
C	12 (2X40)	10	2,06	9,6	15
D	13 (2X40)	10	2,61	10,4	15
E	1 (2X40) 18 (1X40)	12	2,71	9,44	15
Subtablero A1'					
A'	14 (2X40) 4 (1X40)	12	2,64	13,12	20
B'	13 (2X40)	10	2,09	10,4	15
C'	14 (2X40) 4 (1X40)	10	2,9	13,12	20
D'	19 (1X40)	12	2,35	9,12	15
E'	8 (1X40)	12	0,3	3,84	15
Tablero secundario A2					
A	13 (2X40)	12	2,17	10,4	15
B	14 (2X40)	12	2,77	11,2	15
C	15 (2X40)	10	3	12	15
D	15 (2X40)	10	1,98	12	15
E	14 (2X40) 3 (1X40)	10	2,25	12,64	15
F	19 (1X40)	12	2,18	9,12	15
G	1 (2X40) 5 (1X40)	12	0,33	3,12	15
Subtablero A2'					
A'	14 (2X40) 4 (1X40)	10	2,9	13,12	20
B'	12 (2X40) 7(1X40)	10	2,25	12,96	20
C'	15 (2X40)	10	2,51	12	15
D'	12 (2X40) 4(1X40)	10	1,94	11,52	15
E'	9 (2X40) 5(1X40)	12	1,94	9,6	15
Tablero secundario A3					
A	20 (2X40)	10	2,55	16	20
B	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F	7 (2X40) 8 (1X40)	10	1,48	9,44	15
G	23 (1X40)	10	2,22	11,04	15
Subtablero A3'					
A'	14 (2X40)	10	2,35	11,2	15
B'	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C'	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D'	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E'	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F'	12 (2X40)	10	3	9,6	15
G'	17 (1X40)	10	1,08	8,16	15
Tablero secundario A4					
A	20 (2X40)	10	2,55	16	20
B	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C	12 (2X40)	10	2,18	9,6	20
D	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F	7 (2X40) 8 (1X40)	10	1,48	9,44	15
G	23 (1X40)	10	2,22	11,04	15
Subtablero A4'					
A'	14 (2X40)	10	2,35	11,2	15
B'	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C'	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D'	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E'	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F'	12 (2X40)	10	3	9,6	15
G'	17 (1X40)	10	1,08	8,16	15

Tabla XXXVI. Calibres, protecciones y cantidad de luminarias por circuito, edificio B

Cálculo de conductores para el edificio B, iluminación.					
Tablero secundario B1					
Circuito	No. Lámparas	Conductor (AWG)	Máxima caída de tensión (%)	Corriente (A)	Protección (A)
A	12 (2X40)	12	2,24	9,6	15
B	12 (2X40)	12	2,69	9,6	15
C	13 (2X40)	12	2,47	10,4	15
D	14 (2X40)	10	2,19	11,2	15
E	21 (1X40)	12	2,45	10,8	15
Subtablero B1'					
A'	12 (2X40)	10	2,14	9,6	15
B'	12 (2X40)	10	2	9,6	15
C'	9 (2X40) 5 (1X40)	12	1,96	9,6	15
D'	12 (2X40)	12	1,82	9,6	15
E'	12 (2X40)	12	1,53	9,6	15
F'	19 (1X40)	12	2,48	9,12	15
Tablero secundario B2					
A	17 (2X40)	10	2,14	13,6	20
B	5 (2X40) 5(1X40)	10	2,6	6,4	15
C	11 (2X40)	10	1,1	8,8	15
D	12 (2X40)	10	2,7	9,6	15
E	14 (2X40) 5 (1X40)	10	2,33	13,6	20
F	12 (1X40)	10	2,5	9,6	15
Subtablero B2'					
A'	16 (2X40)	10	2,39	12,8	20
B'	16 (2X40)	10	2,59	12,8	20
C'	16 (2X40)	10	2,79	12,8	20
D'	12 (2X40)	10	1,69	9,6	15
E'	23 (1X40)	10	1,95	11,04	15
F'	9 (2X40) 11(1X40)	10	2	12,48	20
Tablero secundario B3					
A	17 (2X40)	10	2,19	13,6	20
B	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F	7 (2X40) 8 (1X40)	10	1,48	9,44	15
G	17 (1X40)	10	1,2	8,16	15
Subtablero B3'					
A'	14 (2X40)	10	2,35	11,2	15
B'	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C'	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D'	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E'	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F'	10 (2X40) 5(1X40)	10	2,71	10,4	15
G'	17 (1X40)	10	1,08	8,16	15
Tablero secundario B4					
A	17 (2X40)	10	2,19	13,6	20
B	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F	7 (2X40) 8 (1X40)	10	1,48	9,44	15
G	17 (1X40)	10	1,2	8,16	15
Subtablero B4'					
A'	14 (2X40)	10	2,35	11,2	15
B'	16 (2X40)	10	2,9	12,8	20
C'	12 (2X40)	10	2,18	9,6	15
D'	11 (2X40)	10	2,48	8,8	15
E'	11 (2X40)	10	2,84	8,8	15
F'	10 (2X40) 5(1X40)	10	2,71	10,4	15
G'	17 (1X40)	10	1,08	8,16	15

Tabla XXXVII. Calibres, protecciones y cantidad de toma corrientes, edificio A

Cálculo de conductores para el edificio A, fuerza.						
Tablero secundario A1						
Circuito	Tomacorrientes	Conductor (AWG)	Máxima caída de tensión (%)	Corriente (A)	Protección (A)	
1	6	10	2,73	9	15	
2	6	10	1,01	9	15	
3	8	10	1,55	12	15	
4	11	10	2,53	16,5	20	
5	10	10	2,66	15	20	
6	8	10	2,73	12	15	
7	9	10	3	13,5	20	
Subtablero A1'						
1'	10	10	1,87	13,5	20	
2'	8	10	1,95	12	15	
3'	5	10	1,45	7,5	15	
4'	7	10	2,22	10,5	15	
5'	5	10	1,78	7,5	15	
Tablero secundario A2						
1	10	10	2,87	15	20	
2	10	10	3	15	20	
3	9	10	2,87	13,5	20	
4	10	10	2,51	15	20	
5	9	10	2,55	13,5	20	
6	6	10	2,58	9	15	
Subtablero A2'						
1'	6	10	2,89	9	15	
2'	6	10	2,87	9	15	
3'	6	10	1,76	9	15	
4'	5	10	1,61	7,5	15	
5'	9	10	3	13,5	20	
Subtablero Fotocopiadoras						
f1	2	10	1,71	24	30	
f2	2	10	0,98	24	30	
f3	2	10	1,71	24	30	
f4	2	10	0,95	24	30	
f5	9	10	2,26	13,5	20	
Subtablero Centro de Cómputo						
cc1	8	10	1,44	24	30	
cc2	8	10	2,35	24	30	
cc3	3	10	0,45	9	15	
Tablero secundario A3						
1	6	10	2,94	9	15	
2	6	10	2,62	9	15	
3	6	10	2,76	9	15	
4	7	10	2,96	10,5	15	
5	5	10	3	7,5	15	
6	7	10	2,6	10,5	15	
7	8	10	2,92	12	15	
8	6	10	2,59	9	15	
Tablero secundario A4						
1	4	10	2,94	6	15	
2	8	10	2,94	12	15	
3	5	10	2,96	7,5	15	
4	7	10	1,79	10,5	15	
5	8	10	2,93	12	15	
6	6	10	1,79	9	15	
7	3	10	0,64	4,5	15	
8	4	10	0,31	6	15	
9	7	10	1,13	10,5	15	

Tabla XXXVIII. Calibres, protecciones y cantidad de toma corrientes, edificio B

Cálculo de conductores para el edificio B, fuerza.					
Tablero secundario B1					
Circuito	Tomacorrientes	Conductor (AWG)	Máxima caída de tensión (%)	Corriente (A)	Protección (A)
1	7	10	2,26	10,5	15
2	6	10	1,98	9	15
3	5	10	1,81	7,5	15
4	4	10	1,39	6	15
5	9	10	3	13,5	20
C1	6	10	1,51	18	30
C2	6	10	1,51	18	30
C3	5	10	1,86	15	20
C4	5	10	2,14	15	20
C5	5	10	2,43	15	20
C6	4	10	1,82	12	15
Subtablero B1'					
1'	8	10	2,54	12	15
2'	8	10	2,99	12	15
3'	8	10	2,64	12	15
4'	7	10	2,03	10,5	15
5'	5	10	0,78	7,5	15
U1	8	10	1,37	24	30
U2	8	10	1,9	24	30
B1	6	10	2,3	18	30
B2	4	10	1,82	12	15
F1	1	10	1,52	12	15
F2	1	10	1,52	12	15
F3	1	10	1,82	12	15
Tablero secundario B2					
1	6	10	3	9	15
2	8	10	2,61	12	15
3	9	10	2,29	13,5	20
4	6	10	2,35	9	15
5	6	10	2,06	9	15
6	4	10	3	6	15
7	6	10	2,6	9	15
Tablero secundario B3					
1	5	10	2,85	7,5	15
2	7	10	2,42	10,5	15
3	6	10	2,77	9	15
4	9	10	2,47	13,5	20
5	6	10	2,97	9	15
6	8	10	3	12	15
7	8	10	3	12	15
8	4	10	2,88	6	15
Tablero secundario B4					
1	7	10	2,4	10,5	15
2	5	10	2,9	7,5	15
3	6	10	2,83	9	15
4	9	10	2,85	13,5	20
5	6	10	3	9	15
6	6	10	2,5	9	15
7	7	10	2,75	10,5	15
8	4	10	2,48	6	15

Las ampacidades de los conductores se encuentran agrupadas en la tabla XXXIX y las secciones transversales en la tabla XL, según datos obtenidos del NEC.

Tabla XXXIX. Ampacidad de distintos conductores

Calibre	Régimen de temperatura del conductor. Véase la tabla 310-13								Calibre
	60°C	75°C	85°C	90°C	60°C	75°C	85°C	90°C	
	+TW, +UF	+FEPW +RH, +RHW +THW, +THWN, +XHHW, +USE +ZW	V	TA, TBS SA, AVB SIS, +FEP +FEPB +RHH, +THHN +XHHW*	+TW +UF	+RH, +RHW +THW +THWN +XHHW +USE	V	TA, TBS, SA, AVB SIS +RHH, +THHN +XHHW	
COBRE				ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO CON COBRE					
18	--	--	--	14	--	--	--	--	--
16	--	--	18	18	--	--	--	--	--
14	20+	20+	25	25+	--	--	--	--	--
12	25+	25+	30	30+	20+	20+	25	25+	12
10	30+	35+	40	40+	25+	30+	30	35+	10
8	40	50	55	55	30	40	40	45	8
6	55	65	70	75	40	50	55	60	6
4	70	85	95	95	55	65	75	75	4
3	85	100	110	110	65	75	85	85	3
2	95	115	125	130	75	90	100	100	2
1	110	130	145	150	85	100	110	115	1
0	125	150	165	170	100	120	130	135	0
00	145	175	190	195	115	135	145	150	00
000	165	200	215	225	130	155	170	175	000
0000	195	230	250	260	150	180	195	205	0000

Fuente: Código Eléctrico Nacional, página 213.

Tabla XL. Secciones transversales de distintos conductores

Características y propiedades de los conductores

Calibre	Sección Nominal mm ²	Conductores aislados		Conductores desnudos		Resistencia en c.c. (ohm/km) a 75° C		
		Número de hilos	Diámetro de cada hilo mm	Diámetro Total mm	Sección Total mm ²	Cobre		Aluminio
						Desnudo	Estañado	
18	0,82	Sólido	1,02	1,02	0,81	25,49	26,51	41,99
18	0,82	7	0,38	1,17	1,07	26,08	27,72	42,98
16	1,31	Sólido	1,29	1,29	1,32	16,04	16,67	26,41
16	1,31	7	0,48	1,47	1,70	16,37	17,36	26,94
14	2,08	Sólido	1,63	1,63	2,08	10,07	10,47	16,60
14	2,08	7	0,61	1,85	2,70	10,30	10,70	16,96
12	3,31	Sólido	2,06	2,06	3,32	6,33	6,59	10,43
12	3,31	7	0,76	2,34	4,29	6,50	6,73	10,66
10	5,26	Sólido	2,59	2,59	5,27	3,97	4,13	6,56
10	5,26	7	0,97	2,95	6,82	4,07	4,23	6,69
8	8,37	Sólido	3,25	3,25	8,30	2,51	2,58	4,13
8	8,37	7	1,24	3,71	10,80	2,55	2,65	4,20
6	13,3	7	1,55	4,67	17,42	1,61	1,67	2,65
4	21	7	1,96	5,89	27,1	1,01	1,05	1,67
3	27	7	2,20	6,60	34,19	0,804	0,833	1,32
2	34	7	2,47	7,42	43,23	0,636	0,659	1,05
1	42	19	1,69	8,43	56,13	0,505	0,525	0,830
1/0	53	19	1,89	9,45	70,32	0,400	0,417	0,659
2/0	67	19	2,13	10,62	88,39	0,317	0,331	0,522
3/0	85	19	2,39	11,94	111,61	0,251	0,261	0,413
4/0	107	19	2,68	13,41	141,29	0,199	0,205	0,328

Fuente: Código Eléctrico Nacional, página 941

2.4.2 Cálculo de conductores principales

Se tomará en cuenta una caída de tensión admisible de 1.5% de la tensión nominal, tomando como referencia la ecuación 10

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum I \cdot l}{\chi \cdot u} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

S= sección del conductor

I= corriente debido a la carga instalada

L= longitud total del conductor

χ = coeficiente de conductividad del conductor

u= caída de tensión permitida

La sección para los alimentadores del primer nivel, del edificio A, del CUM será:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 74}{57 \cdot 3.12} = 17.99 \text{mm}^2$$

Lo que equivale a un conductor 4 AWG, el cual tiene una ampacidad de 95 Amperios.

De la misma forma tenemos para los demás niveles del edificio A y B como se muestra en la tabla XLI para tableros secundarios, y la tabla XLII para subtableros de ambos edificios, tomando en cuenta las distancias respectivas desde el centro de carga principal hasta los respectivos tableros secundarios.

Del centro de carga principal hacia:

- primer tablero secundario del edificio B, 30 mts
- primer tablero secundario del edificio A, 25 mts
- segundo tablero secundario del edificio B, 34 mts
- segundo tablero secundario del edificio A, 29 mts
- tercer tablero secundario del edificio B 38, mts
- tercer tablero secundario del edificio A 33, mts
- cuarto tablero secundario del edificio B 42, mts
- cuarto tablero secundario del edificio A 37, mts

Tabla XLI. Calibre de alimentadores para cada nivel, edificios A y B, CUM

Edificio A						
	Potencia total (w)	Potencia por fase (w)	Corriente por fase (A)	Sección del conductor (mm²)	Calibre AWG	Ampacidad (A)
Primer Nivel	21231	7077	58,975	14,34249185	4	95
Segundo Nivel	37935	12645	105,375	29,72707912	2	130
Tercer Nivel	19629	6543	54,525	17,50355516	4	95
Cuarto Nivel	19764	6588	54,9	19,76017206	4	95

Edificio B						
	Potencia total (w)	Potencia por fase (w)	Corriente por fase (A)	Sección del conductor (mm²)	Calibre AWG	Ampacidad (A)
Primer Nivel	40446	13482	112,35	32,78770243	2	130
Segundo Nivel	17739	5913	49,275	16,29754555	4	95
Tercer Nivel	19503	6501	54,175	20,02622863	4	95
Cuarto Nivel	19098	6366	53,05	21,67461201	2	130

Tabla XLII. Calibre de alimentadores para subtableros, edificios A y B, CUM

Subtablero	Potencia total (w)	Potencia por fase (w)	Corriente fase (A)	Sección del conductor (mm²)	Calibre AWG	Ampacidad (A)
A1 a A1'	8937	2979	24,825	13,04066296	6	75
B1 a B1'	16983	5661	47,175	27,53466599	2	130
A2 a A2'	10719	3573	29,775	17,08914895	4	95
A2 a centro de cómputo	5130	1710	14,25	7,208333333	8	55
A2 a depto. de impresión	8640	2880	24	16,57624831	4	95
B2 a B2'	6192	2064	17,2	9,369860549	6	75
A3 a A3'	6084	2028	16,9	9,535233918	6	75
B3 a B3'	6120	2040	17	9,260908682	6	75
A4 a A4'	6084	2028	16,9	9,535233918	6	75
B4 a B4'	6120	2040	17	9,426282051	6	75

2.5 Diseño de red de tierras

2.5.1 Puesta a tierra

Las razones por las cuales sistemas y circuitos son puestos a tierra son:

- a. Protección de personal
- b. Protección de equipo
- c. limitar el voltaje debido a:
 1. rayos
 2. sobrevoltajes transitorios
 3. contacto accidental con líneas de alto voltaje
 4. estabilizar el voltaje durante operaciones normales
 5. facilitar la operación de los interruptores de circuito

Además la trayectoria a tierra debe ser:

1. conectada a tierra intencionalmente.
2. permanente.
3. continua.
4. segura: el calibre de los conductores debe ser adecuado para que conduzcan sin riesgos cualquier corriente de falla.
5. una trayectoria de baja impedancia.

Debido a la baja resistencia eléctrica que posee el cuerpo humano, se hace necesario darle a una posible corriente de falla otra trayectoria de baja impedancia, esto se logra por medio de un sistema de puesta a tierra adecuado.

2.5.2 Resistividad del terreno

Se deben considerar tres resistencias en un sistema de puesta a tierra:

1. la de la varilla misma
2. la del contacto entre la varilla y la tierra
3. la de la tierra que rodea la varilla

Las dos primeras son despreciables debido, sin embargo la resistencia de la tierra que rodea la varilla es muy importante en el diseño del sistema. La medición de la resistencia del terreno se realiza por medio de un megger de tierra, luego de la cual, es necesario aplicar la ecuación 11, la cual dará el resultado numérico de la resistividad del terreno.

$$\rho = 2\pi AR$$

Ecuación 11

Donde:

ρ = resistividad del terreno en ohmios X metro.

A = distancia entre electrodos de prueba.

R = resistencia medida por el megger.

Para esto será necesario contar con los datos obtenidos en la medición de resistividad del terreno, realizada por el Departamento de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, los cuales se listan a continuación en la tabla XLIII

Tabla XLIII. Medición de resistividad del terreno destinado para la realización del sistema de puesta a tierra y cálculo de su resistividad.

RESISTIVIDAD DE TERRENO EN EL CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO	
Distancia entre electrodos	6 metros
Resistencia del terreno	2.12 ohms
Resistividad del terreno	79.92 ohms x metro ($\rho = 2\pi AR$)

2.5.3 Malla de tierra

Basado en la ecuación de Laurent-Niemann:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde

R = resistencia a tierra en Ohmios

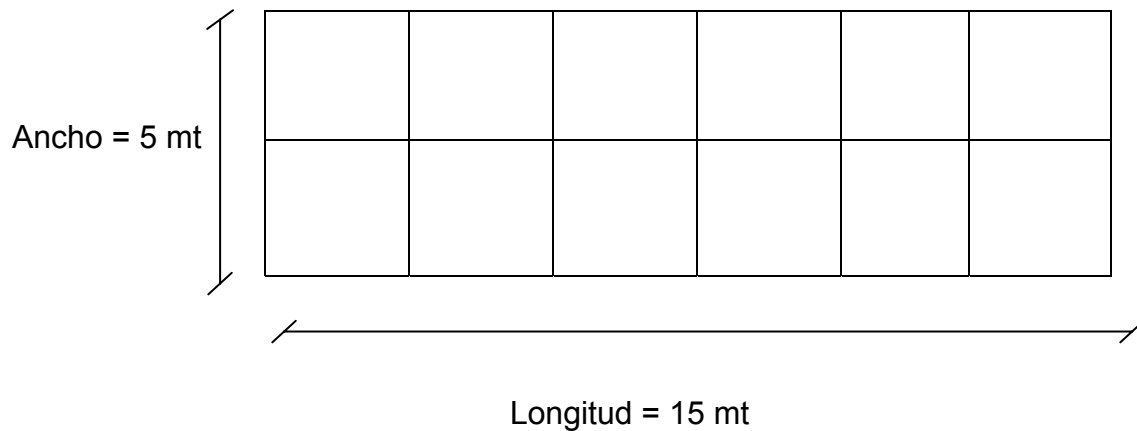
ρ = resistividad especifica en Ohm-metro

r = radio en metros de un circulo de área equivalente a la malla

L = longitud del cable enterrado en metros

Se considera una malla con la configuración mostrada en la figura 33.

Figura 33. Configuración de una malla de puesta a tierra, primera iteración



Además de

$$\rho = 79.92 \text{ Ohm X mt}$$

$$R = 5 \text{ Ohm}$$

$$A = 5 \times 15 = 75 \text{ mt}^2$$

Y tomando como referencia el área de una circunferencia de radio =r y área =A, se tiene la ecuación 13

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ecuación 13}$$

Despejando r y sustituyendo valores de la ecuación 13, se encuentra su valor

$$A = \pi * r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 4.88 \text{ mt}$$

la longitud L será: $L = 5 * 7 + 15 * 3 = 80 \text{ mt}$

sustituyendo en la ecuación 12:

$$R = \frac{79.92}{4(4.88)} + \frac{79.92}{80} = 5.09 \text{ Ohmios}$$

El calibre mínimo es el 2 AWG, necesitándose 80 mt. Y con una separación de 2.5 mt en la cuadrícula que formará la malla.

2.6 Cálculo de pararrayos

Un rayo es una descarga eléctrica de origen atmosférico entre una nube y tierra, que presenta uno o más impulsos de corriente, sus consecuencias pueden variar desde incendios, daños a personas, equipos, explosiones, etc. El nivel de protección se establece de acuerdo al tipo e importancia de la estructura.

La frecuencia anual esperada de rayos sobre una estructura está determinada por la ecuación 14

$$N_d = \frac{Nk}{10} * A_e * C1 \times 10^{-6} \quad \text{descargas por año} \quad \text{Ecuación 14}$$

Siendo

N_k = nivel cerámico

A_e = superficie colectora equivalente del edificio en m^2 que cubre al edificio y cierta área alrededor, siendo del orden de $3h$ (3 veces la altura del edificio), representada en la ecuación 15

$C1$ = coeficiente ambiental, relacionada con la localización relativa de las estructuras.

Para el análisis del Centro Universitario Metropolitano, se considerarán los siguientes datos:

$$N_k = 63$$

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \quad \text{Ecuación 15}$$

Considerando a L, W y H como longitud, ancho y alto del edificio respectivamente, se tiene

$$A_e = 51 * 42 + 6 * 15(51 + 42) + 9\pi(15)^2$$

$$A_e = 16873.73 \text{ m}^2$$

Mientras C1 se obtiene de la tabla XLIV mostrada a continuación

Tabla XLIV. Determinación del coeficiente ambiental

Localización relativa de estructuras	C1
Estructura localizada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más alto	0.25
Estructuras rodeadas por estructuras bajas	0.5
Estructuras aisladas: no hay otras estructuras en una distancia menor de 3H	1
Estructura aislada en la cumbre de una colina o promontorio	2

Fuente: NF C 17-102

Para éste caso, se trata de estructuras localizadas donde hay otras estructuras de la misma altura, por lo tanto, C1 = 0.25

De acuerdo con lo anterior, se tiene que para el edificio A y B del CUM:

$$N_d = \frac{63}{10} * 16873.73 * 0.25 \times 10^{-6} = 0.026 \text{ descargas por año}$$

Mientras que el valor aceptable de la frecuencia anual de rayos, N_c está determinada por la ecuación 16

$$N_c = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

C_2 = Coeficiente estructural (tabla XLV)

C_3 = Contenido de la estructura (tabla XLVI)

C_4 = Ocupación del edificio (tabla XLVII)

C_5 = Consecuencias de la caída del rayo (tabla XLVIII)

Tabla XLV. Determinación del coeficiente estructural

Estructura	Techo o tejado		
	Metálico	Común	Inflamable
Metálica	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

Fuente: tabla B5, C 17-102

Tabla XLVI. Determinación del coeficiente del contenido de la estructura

Contenido de la estructura	
Sin valor y no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	1
Alto valor o particularmente inflamable	2
Valor excepcional, irremplazable o altamente inflamable, explosivo	3

Fuente: tabla B6, C 17-102

Tabla XLVII. Determinación del coeficiente de ocupación de la estructura

Ocupación de la estructura	
Desocupada	0.5
Normalmente ocupada	1
Evacuación dificultosa o riesgo de pánico	3

Fuente: tabla B7, C 17-102

Tabla XLVIII. Coeficiente de consecuencias de la caída del rayo.

Consecuencias de la caída de un rayo	
Continuidad del servicio no requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	1
Continuidad del servicio requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	5
Consecuencias en el ambiente	10

Fuente: tabla B8, C 17-102

Se considera a los edificios del CUM con una clasificación de $C_2 = 1$ (techo común), $C_3 = 1$ (valor común o normalmente inflamable), $C_4 = 1$ (normalmente ocupada), $C_5 = 1$ (continuidad del servicio no requerido y ninguna consecuencia en el ambiente).

Con esa información, se conoce N_c

$$N_c = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{1 * 1 * 1 * 1} = 0.0055$$

Se calcula ahora la eficiencia del sistema con la ecuación 17

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$E = 1 - \frac{0.0055}{0.026} = 0.79$$

y con la tabla XLIX se escoge el nivel de protección asociado a la eficiencia calculada, la cual nos da un nivel III de protección.

Tabla XLIX. Valores críticos de E inefectivo correspondientes al límite entre el nivel de protección y el nivel de protección correspondiente al E inefectivo calculado

E Inefectivo calculado	Nivel de protección Asociado	Corriente pico 1 (KA)
$E > 0.98$	Nivel 1 + Medidas adicionales	-----
$0.95 < E \leq 0.98$	Nivel I	2.8
$0.80 < E \leq 0.95$	Nivel II	9.5
$0 < E \leq 0.8$	Nivel III	14.7

Fuente: tabla B10, C 17-102

Dentro de los distintos tipos de pararrayos se encuentra el tipo Pulsar, del cuál se presentan sus características en la tabla L, se ha seleccionado el Pulsar 60, con un nivel III de protección y una distancia de cebado de 60 metros, colocado a una altura de 5 metros encima del edificio A. Este pararrayos logra un radio de protección de 107 metros.

Tabla L. Radios de protección del pararrayos Pulsar de Helita

Radios de protección de pararrayos Pulsar, según la norma NF C 17 - 102									
Nivel de protección	Nivel I			Nivel II			Nivel III		
	D = 20 metros			D = 45 metros			D = 60 Metros		
Pulsar	25	40	60	25	40	60	25	40	60
T (µs)	25	40	60	25	40	60	25	40	60
H (metros)	Rp (metros)								
2	17	24	32	23	30	40	26	33	44
3	25	35	48	34	45	59	39	50	65
4	34	46	64	46	60	78	52	57	87
5	42	58	79	57	75	97	65	84	107
6	43	58	79	58	57	97	66	84	107
8	43	59	79	59	77	98	67	85	108
10	44	59	79	61	77	99	69	87	109
15	45	59	80	63	79	101	72	89	111
20	45	60	80	65	81	102	75	92	113
45	45	60	80	70	85	105	84	98	119
60	45	60	80	70	85	105	85	100	120

Fuente: Catálogo Helita

Donde

D = distancia de cebado

T = avance en el cebado

H = altura de la punta Pulsar encima del área a proteger

Rp = radio de protección dentro de un plano horizontal localizado a una distancia vertical h de la punta del Pulsar.

3. DIAGRAMAS UNIFILARES

Es una representación gráfica de un sistema de distribución eléctrica, una línea puede mostrar la totalidad o una parte de un sistema. Es muy versátil y completo puesto que puede ilustrar circuitos CD muy sencillos, o bien un sistema trifásico muy complejo.

En el diseño del sistema eléctrico realizado para los edificios A y B del Centro Universitario Metropolitano, se dan a conocer las especificaciones de cada circuito eléctrico, tales como carga instalada, corriente consumida, voltajes y caídas permitidas, así como las protecciones para cada uno, en los siguientes apartados se determina la forma que debe tener cada circuito ramal como cimentadores, las protecciones de alimentadores y balance de cargas.

3.1. Diagramas unifilares de la red eléctrica general

La red eléctrica general debe responder a las especificaciones de la figura 34, de la cual se detallan sus características en la tabla LI.

Figura 34. Diagrama unifilar de la red eléctrica general.

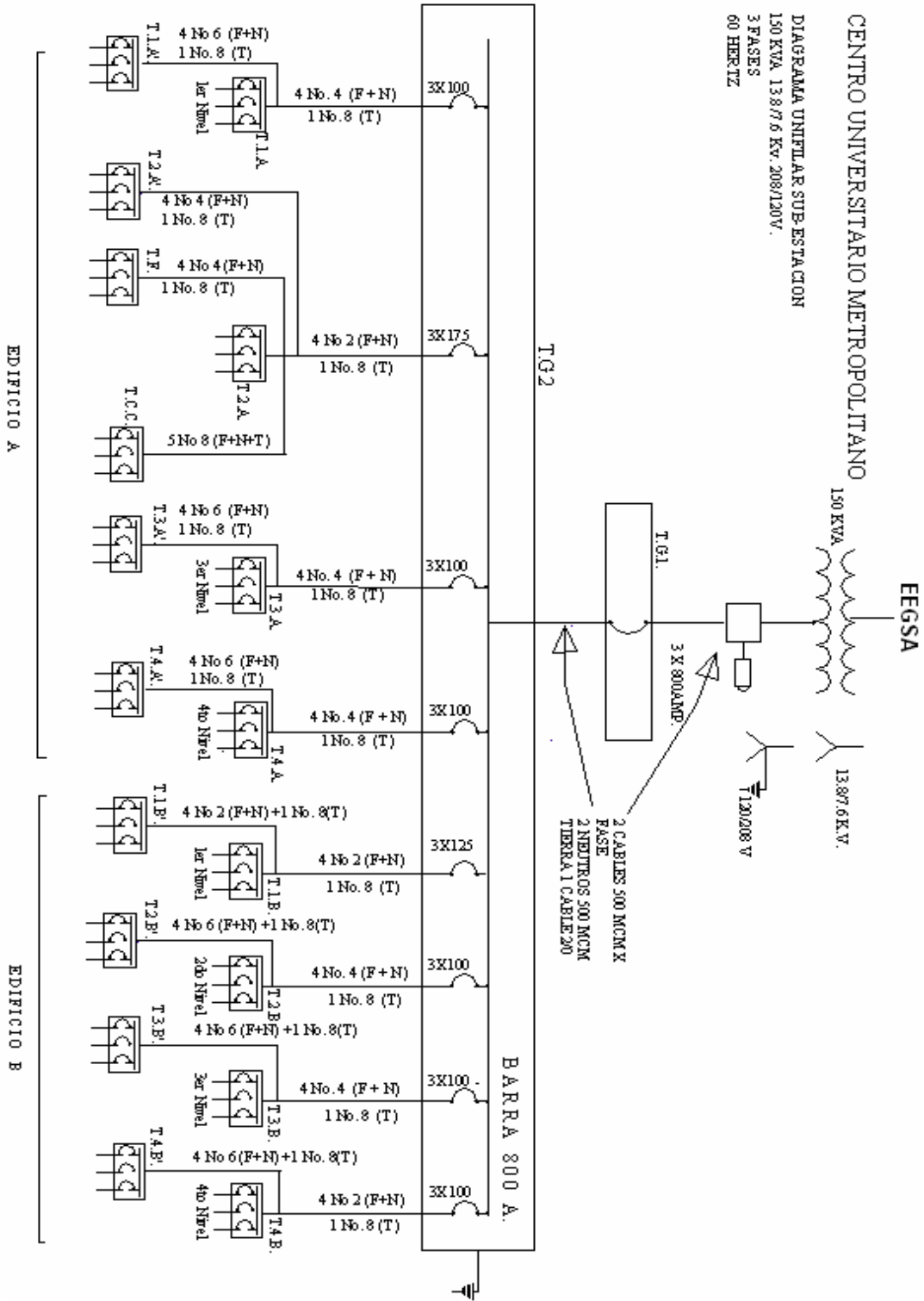


Tabla LI. Descripción de la figura XXXIV

Edificio A		Edificio B	
Primer Nivel		Primer Nivel	
Alimentadores	Cable 4 AWG	Alimentadores	Cable 2 AWG
Neutral	Cable 4 AWG	Neutral	Cable 2 AWG
Tierra	Cable No. 8 AWG	Tierra	Cable No. 8 AWG
Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A	Protección	Interruptor termomagnético 3x125 A
Segundo Nivel		Segundo Nivel	
Alimentadores	Cable 2 AWG	Alimentadores	Cable 4 AWG
Neutral	Cable 2 AWG	Neutral	Cable 4 AWG
Tierra	Cable No. 8 AWG	Tierra	Cable No. 8 AWG
Protección	Interruptor termomagnético 3x175 A	Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A
Tercer Nivel		Tercer Nivel	
Alimentadores	Cable 4 AWG	Alimentadores	Cable 4 AWG
Neutral	Cable 4 AWG	Neutral	Cable 4 AWG
Tierra	Cable No. 8 AWG	Tierra	Cable No. 8 AWG
Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A	Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A
Cuarto Nivel		Cuarto Nivel	
Alimentadores	Cable 4 AWG	Alimentadores	Cable 2 AWG
Neutral	Cable 4 AWG	Neutral	Cable 2 AWG
Tierra	Cable No. 8 AWG	Tierra	Cable No. 8 AWG
Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A	Protección	Interruptor termomagnético 3x100 A

La carga instalada total para el edificio A por niveles es:

- Primer Nivel 26380 KVA
- Segundo Nivel 48520 KVA
- Tercer Nivel 23340 KVA
- Cuarto Nivel 23520 KVA
- Carga total 121760 KVA

La carga instalada total para el edificio B por niveles es:

- Primer Nivel 33300 KVA
- Segundo Nivel 20580 KVA
- Tercer Nivel 23260 KVA
- Cuarto Nivel 22720 KVA
- Carga total 99860 KVA

Los conductores han sido dimensionados por medio del método de caída de tensión, además, las protecciones se han calculado con el 125% de capacidad, al igual que las barras principales.

El conductor neutro ha sido especificado del mismo calibre que los conductores de fases, debido a que por la naturaleza de las cargas, las cuales son en su mayoría aportadoras de armónicos, por éstos circulará una corriente mayor.

El conductor de tierra ha sido seleccionado de acuerdo a la norma 254-94 la cuál especifica que el calibre mínimo del conductor de tierra debe ser 8 AWG.

No se estima un crecimiento significativo de la demanda, pues el espacio físico de ambos edificios se encuentra ocupado en su totalidad, además de tratarse de un establecimiento educativo.

Se estima que la demanda total bajo este nuevo diseño será de 222 KVA.

3.2. Diagrama unifilar de la sub red eléctrica

La sub red eléctrica está compuesta por todos los circuitos ramales que alimentan la carga instalada en su totalidad así como los centros de carga y protecciones para cada circuito, en las figuras siguientes se detallan las características de la sub red eléctrica.

Figura 35. Diagrama unifilar, primer nivel edificio A, tablero secundario A1

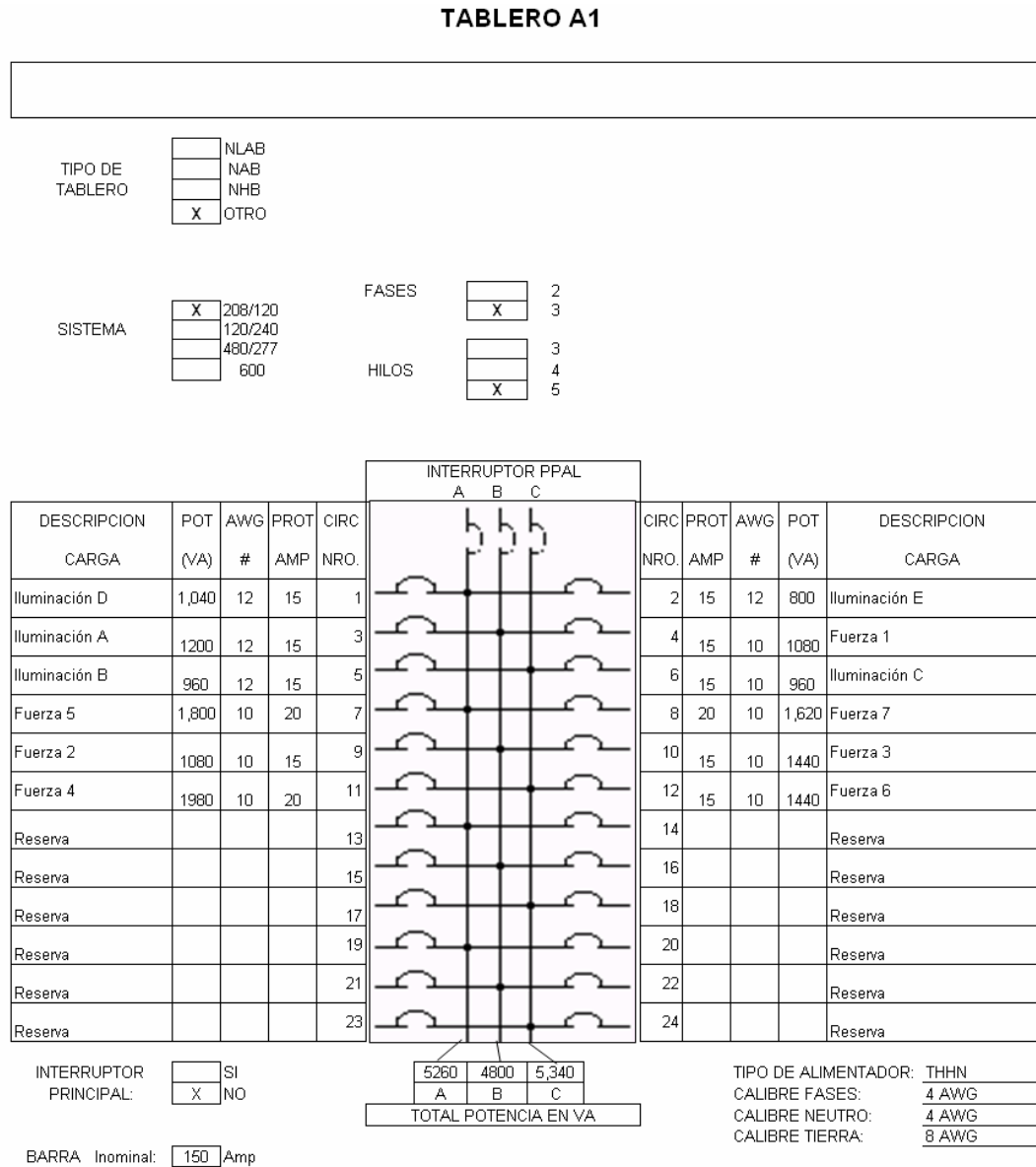


Figura 36. Diagrama unifilar, primer nivel edificio A, subtablero A1'

TABLERO A1'

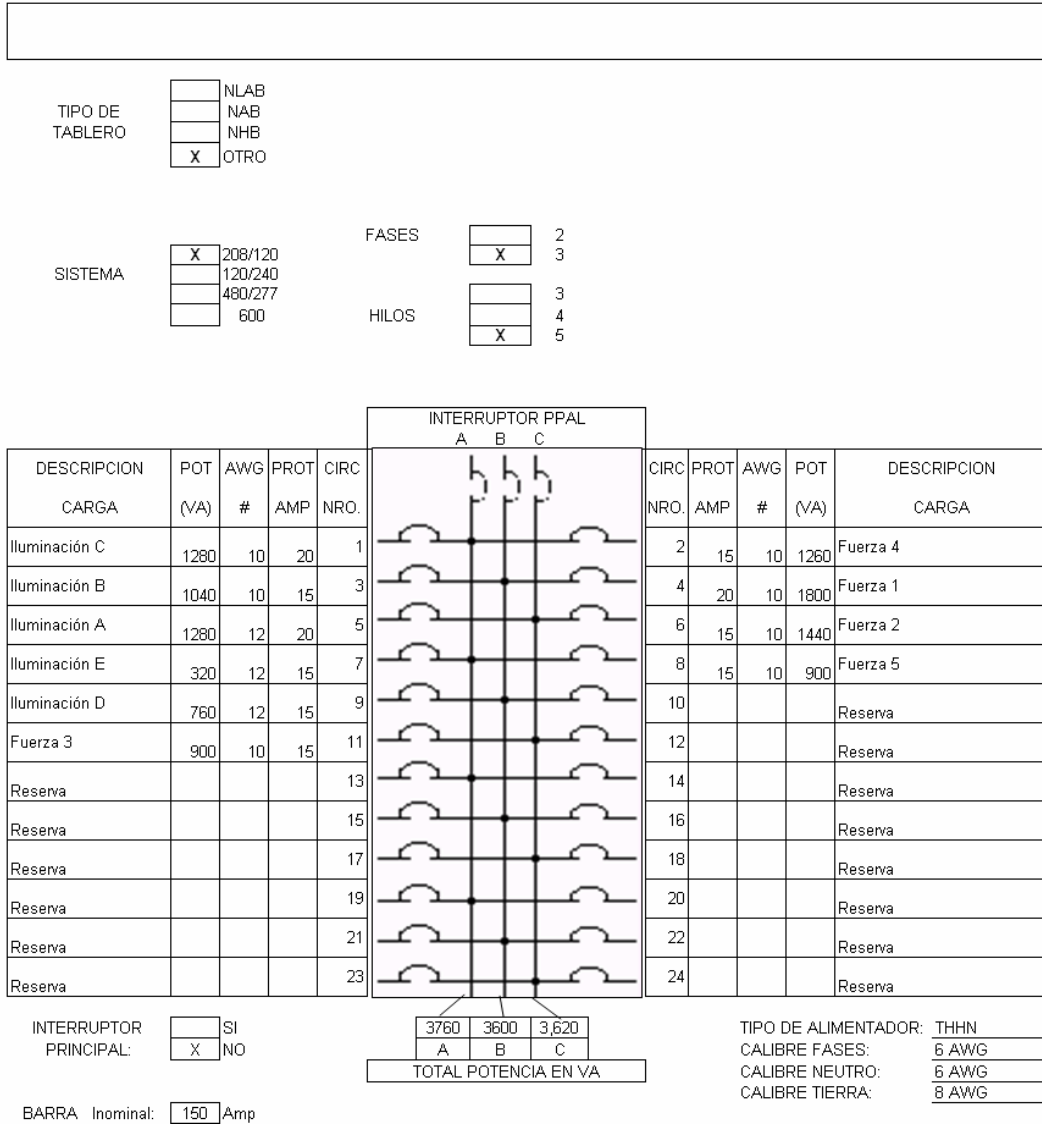


Figura 37. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, tablero secundario A2

TABLERO A2



TIPO DE TABLERO

<input type="checkbox"/>	NLAB
<input type="checkbox"/>	NAB
<input type="checkbox"/>	NHB
<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA

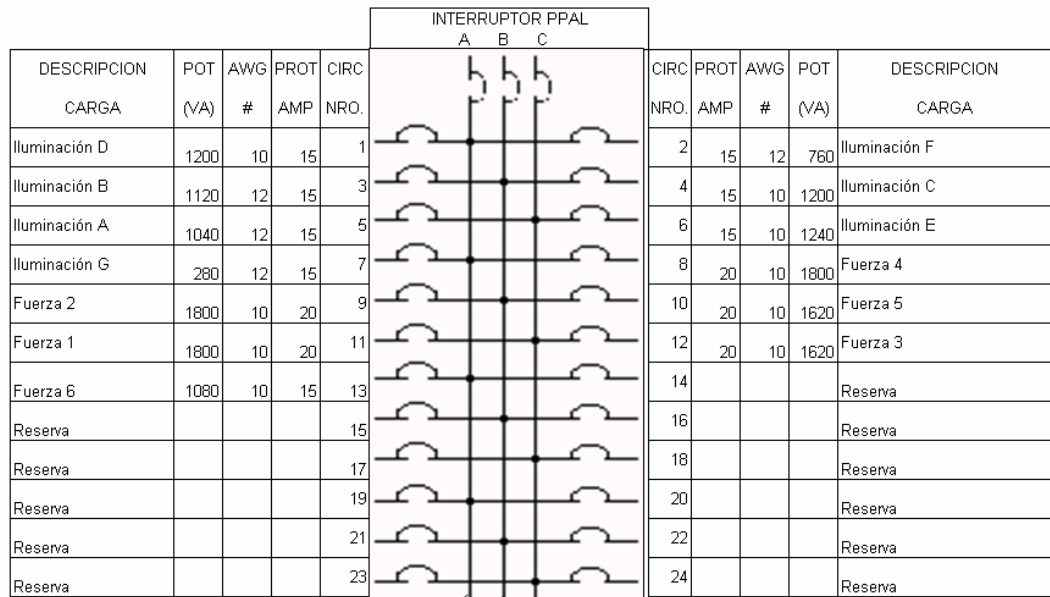
<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
<input type="checkbox"/>	120/240
<input type="checkbox"/>	480/277
<input type="checkbox"/>	600

FASES

<input type="checkbox"/>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS

<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4
<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:

<input type="checkbox"/>	SI
<input checked="" type="checkbox"/>	NO

BARRA Inominal: Amp

5120	5740	5,700
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN
 CALIBRE FASES: 2 AWG
 CALIBRE NEUTRO: 2 AWG
 CALIBRE TIERRA: 8 AWG

Figura 38. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, subtablero A2'

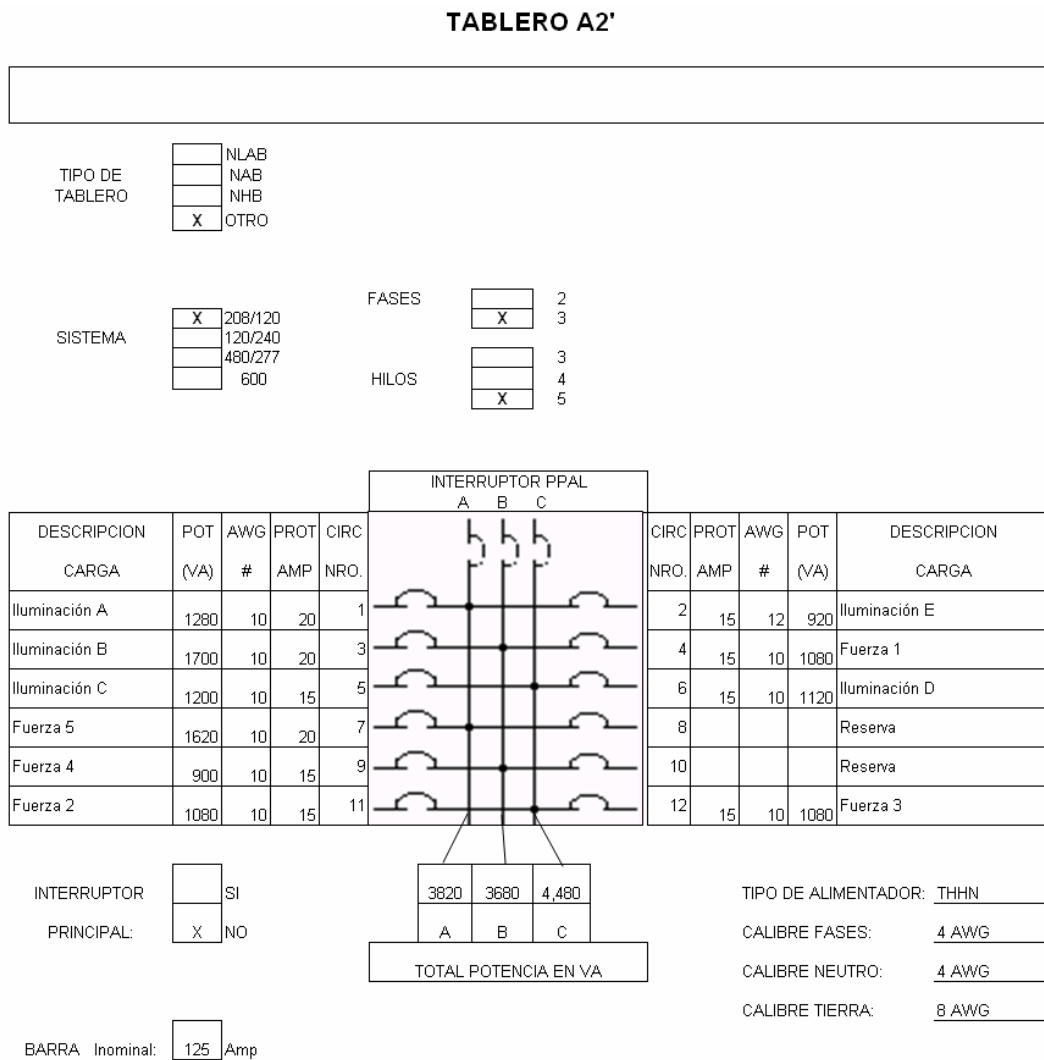


Figura 39. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, subtablero del centro de cómputo

TABLERO CC



TIPO DE TABLERO

<input type="checkbox"/>	NLAB
<input type="checkbox"/>	NAB
<input type="checkbox"/>	NHB
<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA

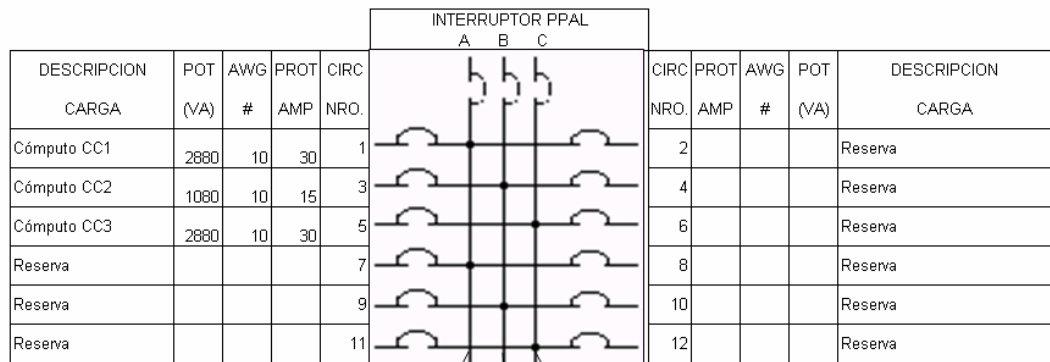
<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
<input type="checkbox"/>	120/240
<input type="checkbox"/>	480/277
<input type="checkbox"/>	600

FASES

<input type="checkbox"/>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	3

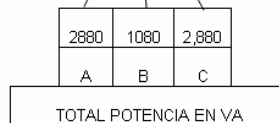
HILOS

<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4
<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:

<input type="checkbox"/>	SI
<input checked="" type="checkbox"/>	NO



TIPO DE ALIMENTADOR: THHN _____
 CALIBRE FASES: 8 AWG _____
 CALIBRE NEUTRO: 8 AWG _____
 CALIBRE TIERRA: 8 AWG _____

BARRA Inominal: 125 Amp

Figura 40. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A , subtablero FF

TABLERO FF

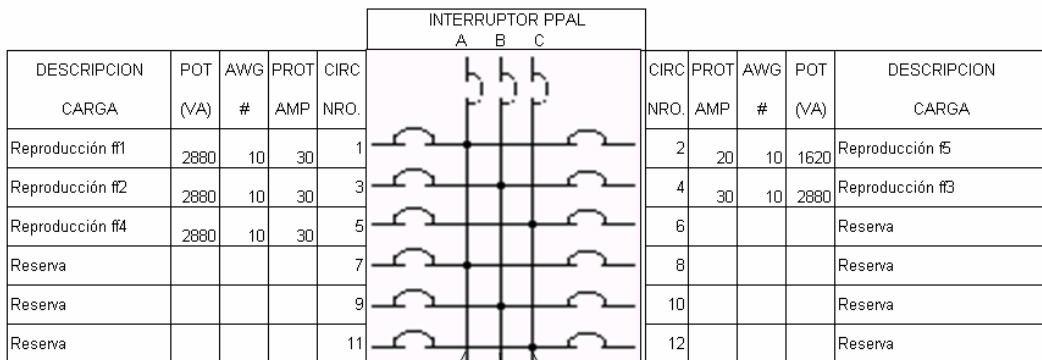


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/>	NLAB
	<input type="checkbox"/>	NAB
	<input type="checkbox"/>	NHB
	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
	<input type="checkbox"/>	120/240
	<input type="checkbox"/>	480/277
	<input type="checkbox"/>	600

FASES	<input type="checkbox"/>	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS	<input type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	4
	<input checked="" type="checkbox"/>	5
	<input type="checkbox"/>	6



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/>	SI
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO

4500	5760	2,880
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR:	THHN
CALIBRE FASES:	4 AWG
CALIBRE NEUTRO:	4 AWG
CALIBRE TIERRA:	8 AWG

BARRA Inominal:	125	Amp
-----------------	-----	-----

Figura 41. Diagrama unifilar, tercer nivel edificio A, tablero secundario A3

TABLERO A3

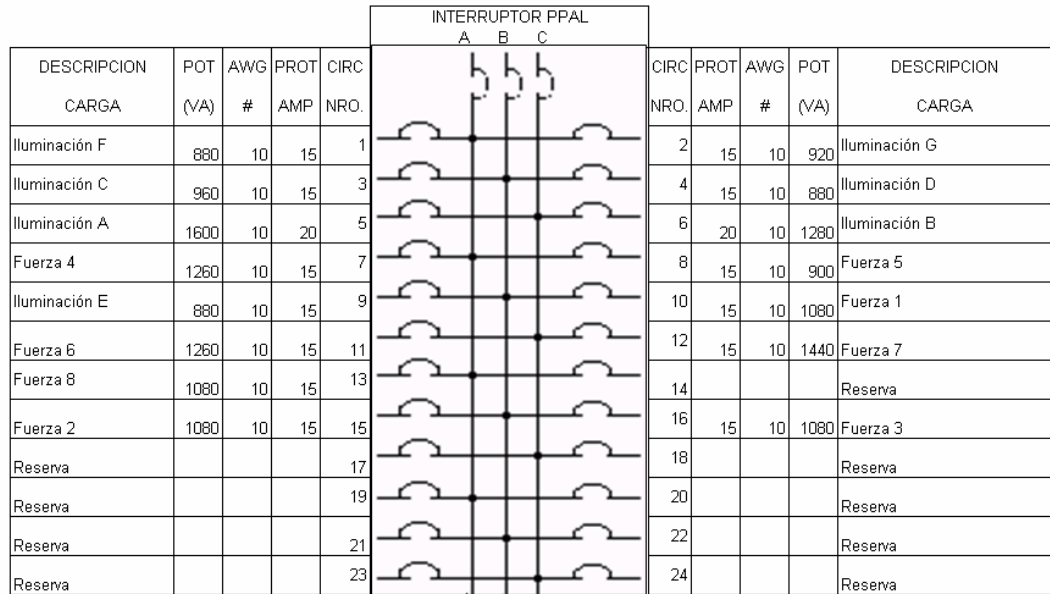


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/>	NLAB
	<input type="checkbox"/>	NAB
	<input type="checkbox"/>	NHB
	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
	<input type="checkbox"/>	120/240
	<input type="checkbox"/>	480/277
	<input type="checkbox"/>	600

FASES	<input type="checkbox"/>	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS	<input type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	4
	<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/>	SI
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO

BARRA Inominal: Amp

5040	5960	5,580
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN
 CALIBRE FASES: 4 AWG
 CALIBRE NEUTRO: 4 AWG
 CALIBRE TIERRA: 8 AWG

Figura 42. Diagrama unifilar, tercer nivel edificio A, subtablero A3'

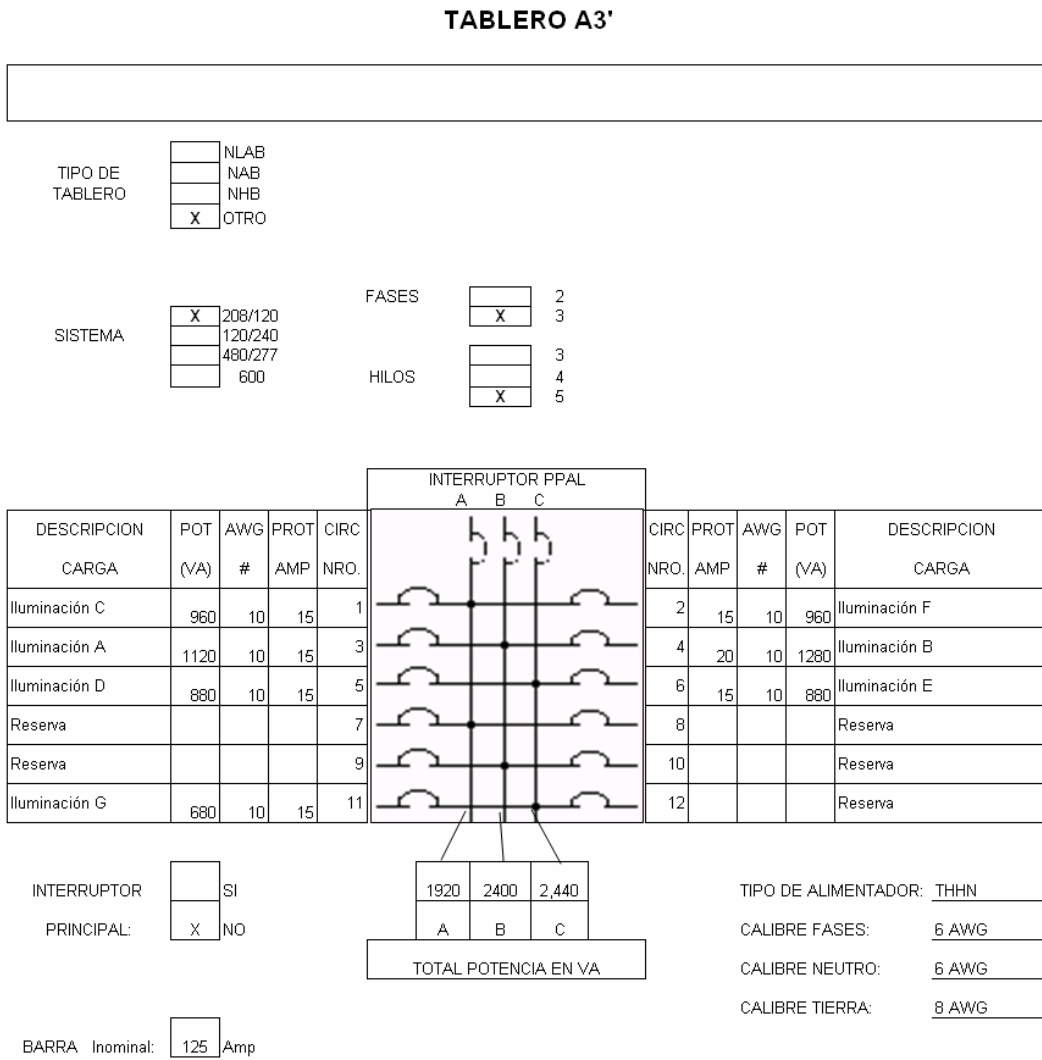


Figura 43. Diagrama unifilar, cuarto nivel edificio A, tablero secundario A4

TABLERO A4

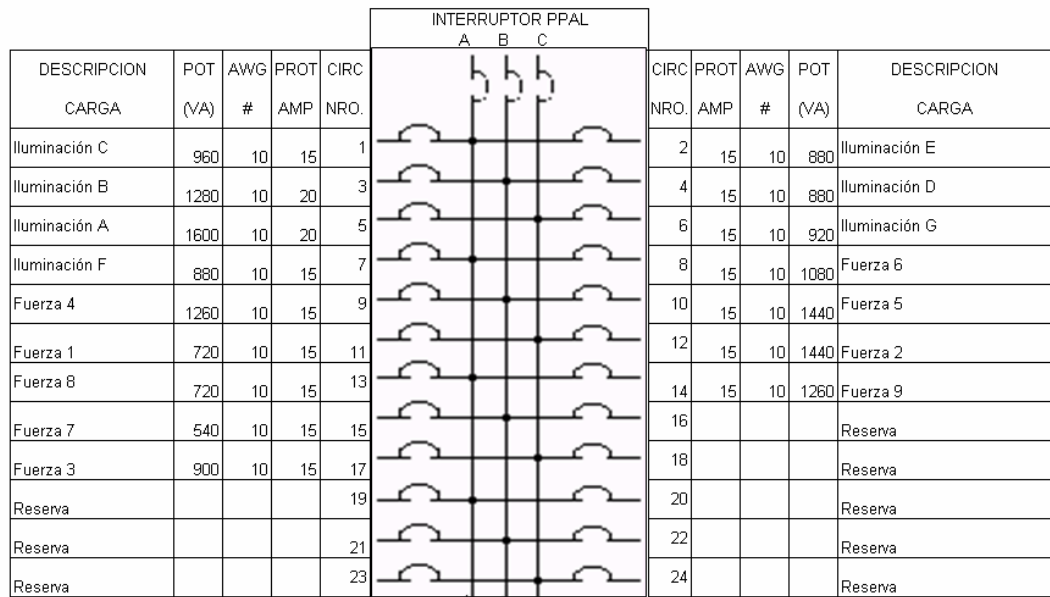


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/> NLAB
	<input type="checkbox"/> NAB
	<input type="checkbox"/> NHB
	<input checked="" type="checkbox"/> OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/> 208/120
	<input type="checkbox"/> 120/240
	<input type="checkbox"/> 480/277
	<input type="checkbox"/> 600

FASES	<input type="checkbox"/> 2
	<input checked="" type="checkbox"/> 3

HILOS	<input type="checkbox"/> 3
	<input type="checkbox"/> 4
	<input checked="" type="checkbox"/> 5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/> SI
	<input checked="" type="checkbox"/> NO

BARRA Inominal: Amp

5780	5400	5580
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR:	THHN
CALIBRE FASES:	4 AWG
CALIBRE NEUTRO:	4 AWG
CALIBRE TIERRA:	8 AWG

Figura 44. Diagrama unifilar, cuarto nivel edificio A, subtablero A4'

TABLERO A4'



TIPO DE TABLERO

<input type="checkbox"/>	NLAB
<input type="checkbox"/>	NAB
<input type="checkbox"/>	NHB
<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA

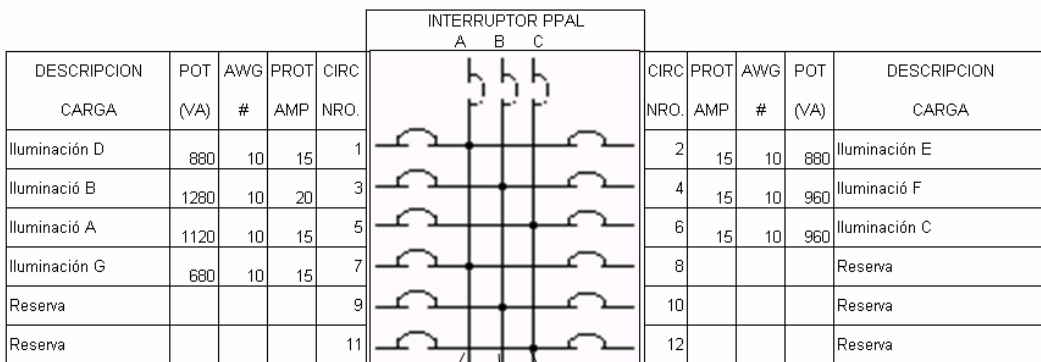
<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
<input type="checkbox"/>	120/240
<input type="checkbox"/>	480/277
<input type="checkbox"/>	600

FASES

<input type="checkbox"/>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS

<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4
<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR

<input type="checkbox"/>	SI
<input checked="" type="checkbox"/>	NO

PRINCIPAL:

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN

CALIBRE FASES: 6 AWG

CALIBRE NEUTRO: 6 AWG

CALIBRE TIERRA: 8AWG

BARRA Inominal: 125 Amp

2440	2240	2,080
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

Figura 45. Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, tablero secundario B1

TABLERO B1

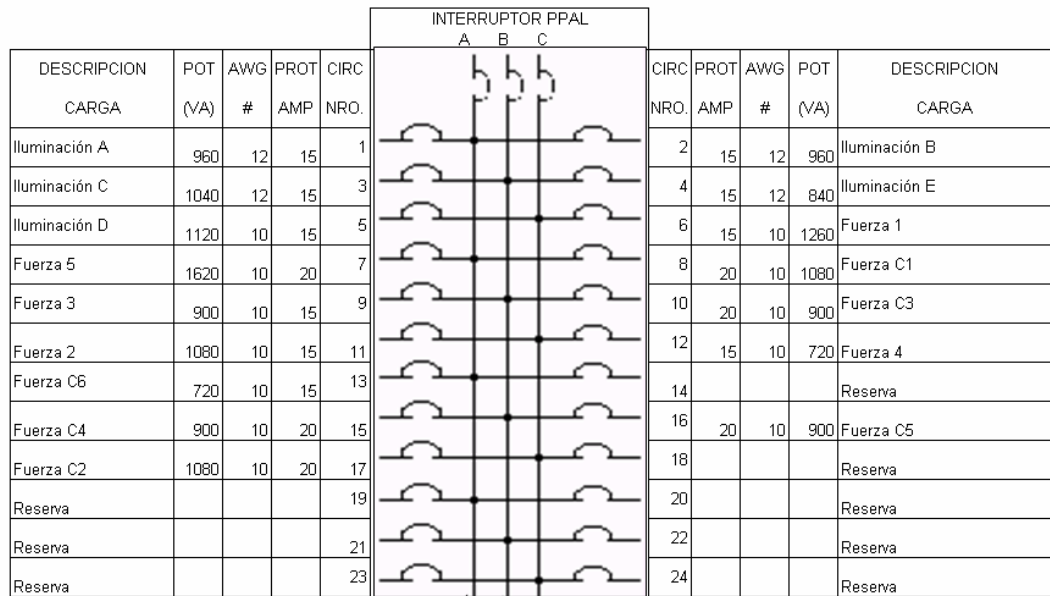


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/>	NLAB
	<input type="checkbox"/>	NAB
	<input type="checkbox"/>	NHB
	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
	<input type="checkbox"/>	120/240
	<input type="checkbox"/>	480/277
	<input type="checkbox"/>	600

FASES	<input type="checkbox"/>	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS	<input type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	4
	<input type="checkbox"/>	5
	<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/>	SI
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO

BARRA Inominal: Amp

5340	5480	5260
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN _____
 CALIBRE FASES: 2 AWG _____
 CALIBRE NEUTRO: 2 AWG _____
 CALIBRE TIERRA: 8 AWG _____

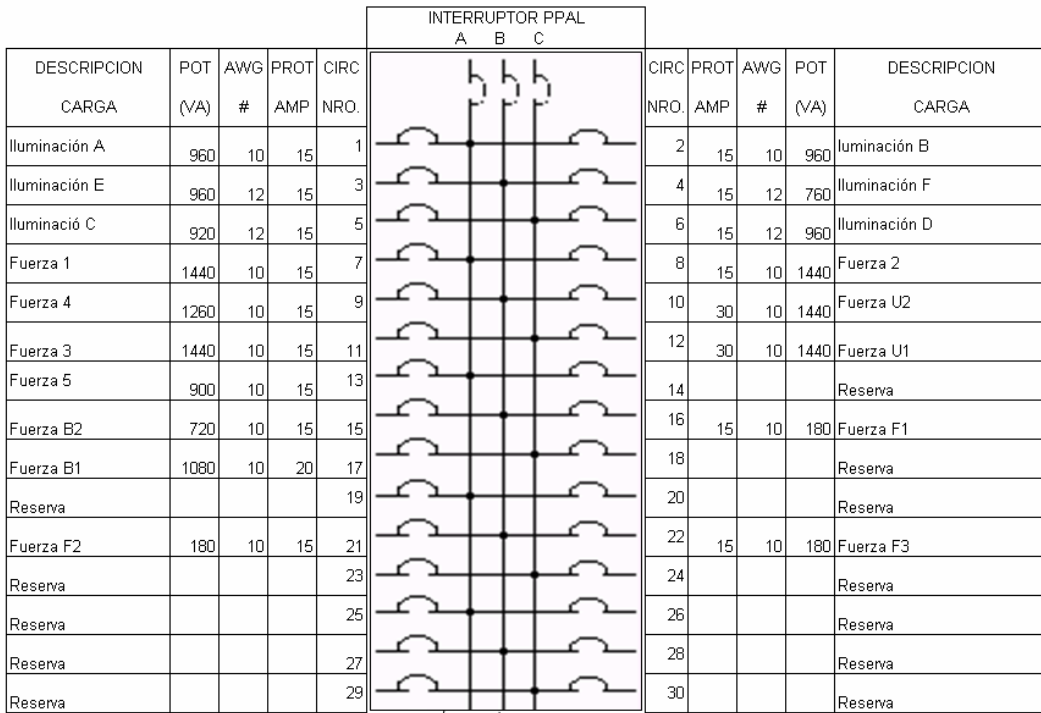
Figura 46. Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, subtablero B1'

TABLERO B1'



TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/>	NLAB
	<input type="checkbox"/>	NAB
	<input type="checkbox"/>	NHB
	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/>	208/120	FASES	<input type="checkbox"/>	2
	<input type="checkbox"/>	120/240		<input checked="" type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	480/277		<input type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	600		<input type="checkbox"/>	4
			HILOS	<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/>	SI
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO

BARRA Inominal: Amp

5700	5680	5,840
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR:	THHN
CALIBRE FASES:	2 AWG
CALIBRE NEUTRO:	2 AWG
CALIBRE TIERRA:	8 AWG

Figura 47. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio B, tablero secundario B2

TABLERO B2

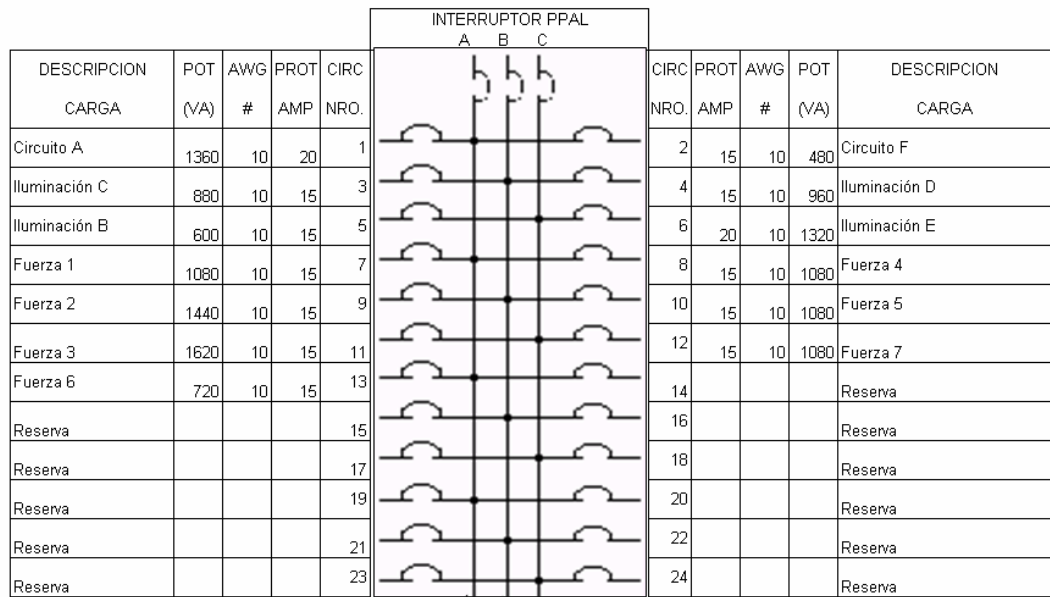


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/> NLAB
	<input type="checkbox"/> NAB
	<input type="checkbox"/> NHB
	<input checked="" type="checkbox"/> OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/> 208/120
	<input type="checkbox"/> 120/240
	<input type="checkbox"/> 480/277
	<input type="checkbox"/> 600

FASES	<input type="checkbox"/> 2
	<input checked="" type="checkbox"/> 3

HILOS	<input type="checkbox"/> 3
	<input type="checkbox"/> 4
	<input checked="" type="checkbox"/> 5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/> SI
	<input checked="" type="checkbox"/> NO

BARRA Inominal: 150 Amp

4720	4360	4620
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR:	THHN
CALIBRE FASES:	4 AWG
CALIBRE NEUTRO:	4 AWG
CALIBRE TIERRA:	8 AWG

Figura 48. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio B, subtablero B2'

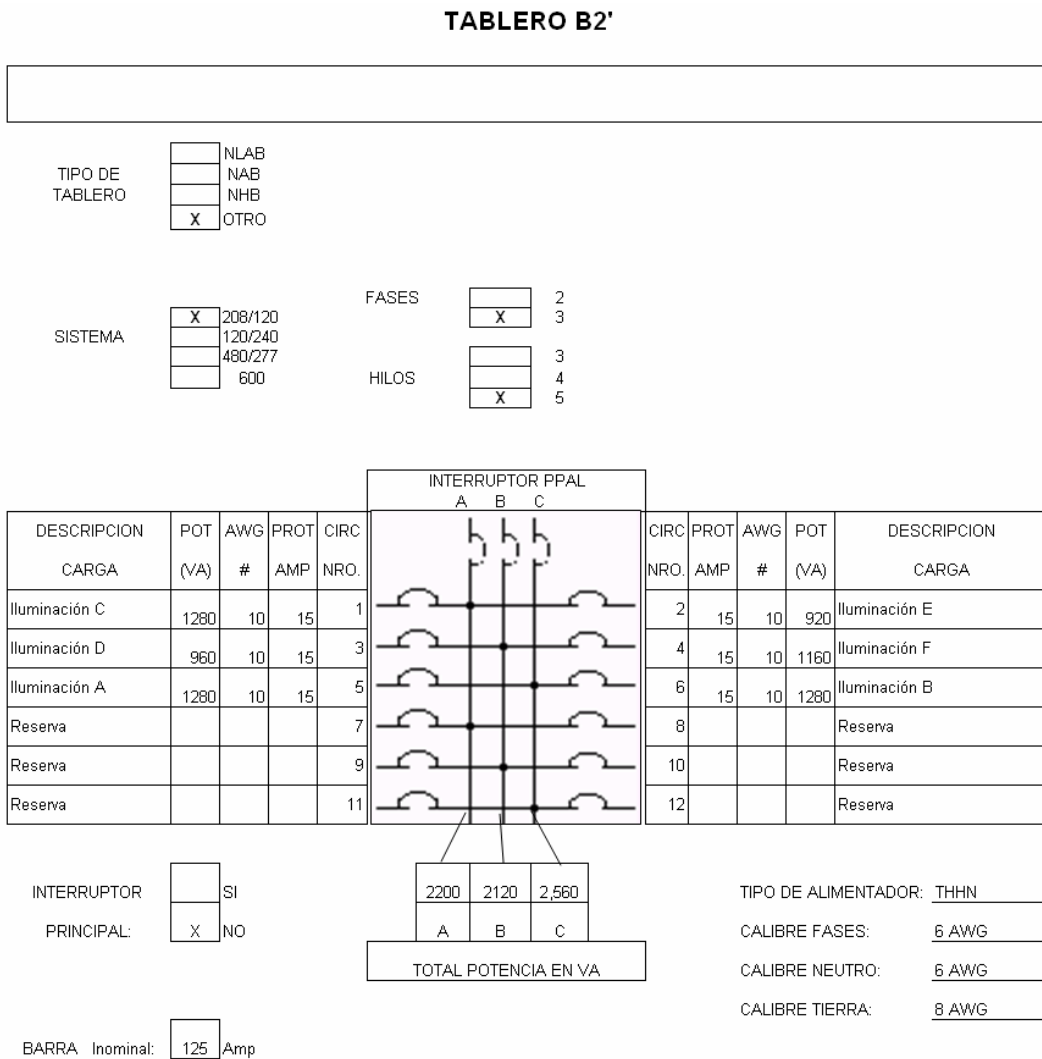


Figura 49. Diagrama unifilar, tercer nivel edificio B, tablero secundario B3

TABLERO B3

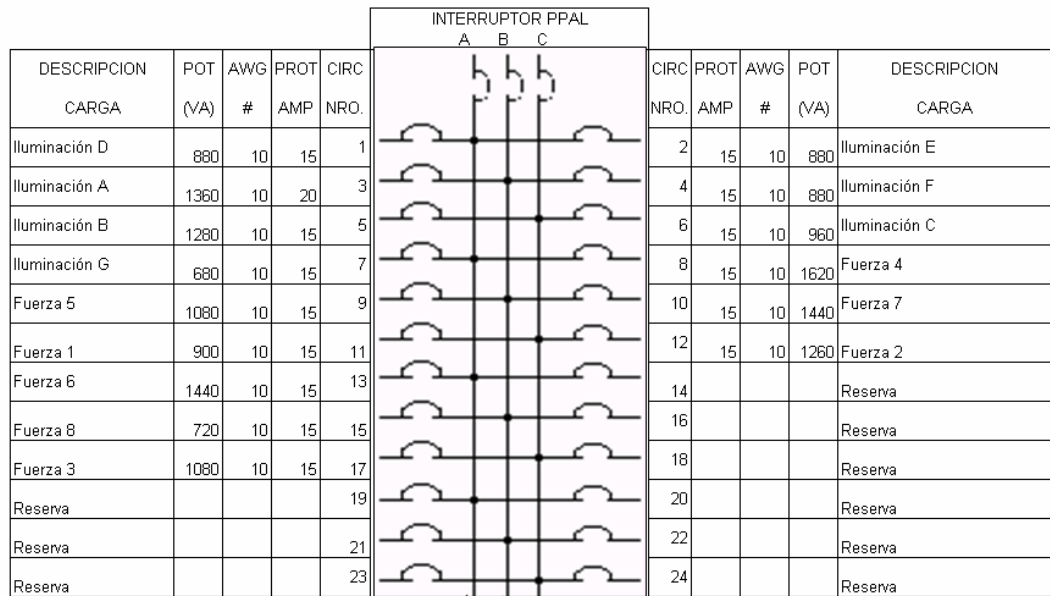


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/>	NLAB
	<input type="checkbox"/>	NAB
	<input type="checkbox"/>	NHB
	<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
	<input type="checkbox"/>	120/240
	<input type="checkbox"/>	480/277
	<input type="checkbox"/>	600

FASES	<input type="checkbox"/>	2
	<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS	<input type="checkbox"/>	3
	<input type="checkbox"/>	4
	<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/>	SI
	<input checked="" type="checkbox"/>	NO

BARRA Inominal: Amp

5500	5480	5,480
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN
 CALIBRE FASES: 4 AWG
 CALIBRE NEUTRO: 4 AWG
 CALIBRE TIERRA: 8 AWG

Figura 50. Diagrama unifilar, tercer nivel edificio B, subtablero B3'

TABLERO B3'



TIPO DE TABLERO

<input type="checkbox"/>	NLAB
<input type="checkbox"/>	NAB
<input type="checkbox"/>	NHB
<input checked="" type="checkbox"/>	OTRO

SISTEMA

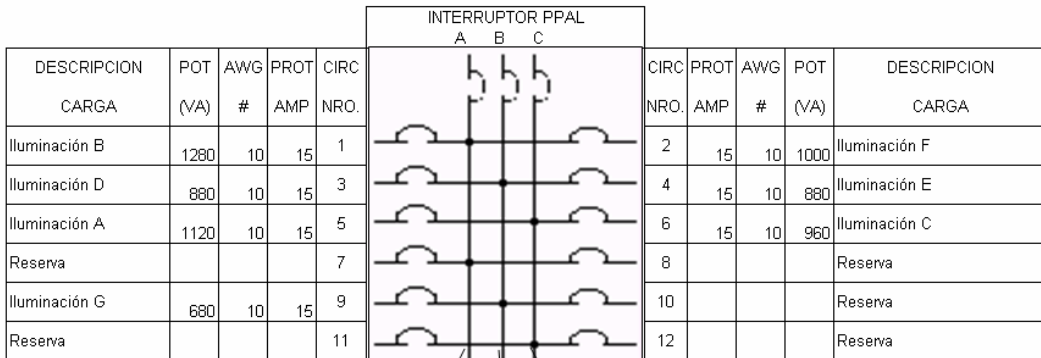
<input checked="" type="checkbox"/>	208/120
<input type="checkbox"/>	120/240
<input type="checkbox"/>	480/277
<input type="checkbox"/>	600

FASES

<input type="checkbox"/>	2
<input checked="" type="checkbox"/>	3

HILOS

<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4
<input checked="" type="checkbox"/>	5



INTERRUPTOR PRINCIPAL:

<input type="checkbox"/>	SI
<input checked="" type="checkbox"/>	NO

2280	2440	2,080
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR: THHN

CALIBRE FASES: 6 AWG

CALIBRE NEUTRO: 6 AWG

CALIBRE TIERRA: 8 AWG

BARRA Inominal: 125 Amp

Figura 51. Diagrama unifilar, cuarto nivel edificio B, tablero secundario B4

TABLERO B4

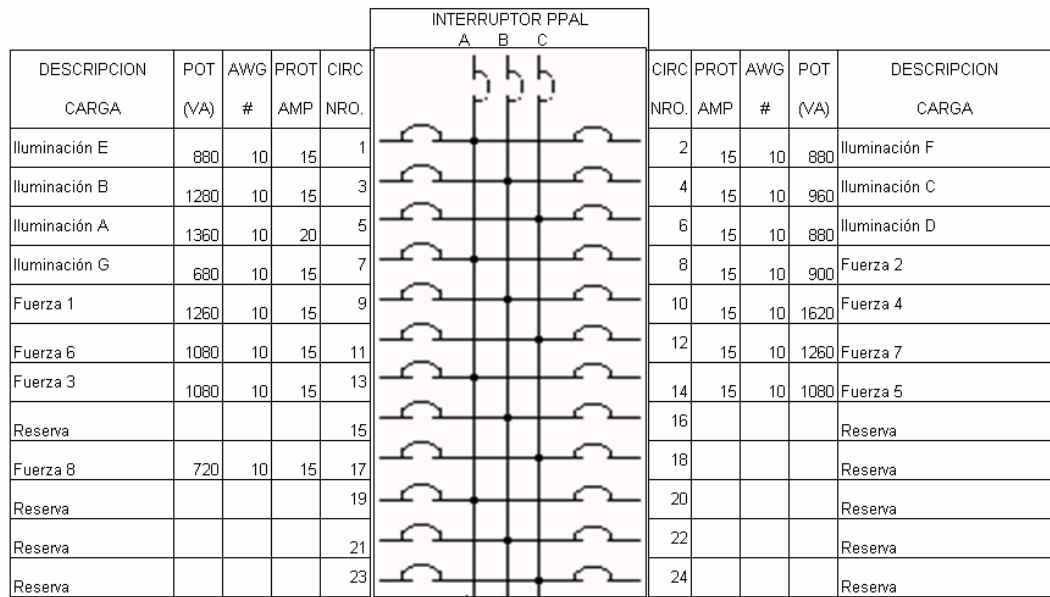


TIPO DE TABLERO	<input type="checkbox"/> NLAB
	<input type="checkbox"/> NAB
	<input type="checkbox"/> NHB
	<input checked="" type="checkbox"/> OTRO

SISTEMA	<input checked="" type="checkbox"/> 208/120
	<input type="checkbox"/> 120/240
	<input type="checkbox"/> 480/277
	<input type="checkbox"/> 600

FASES	<input type="checkbox"/> 2
	<input checked="" type="checkbox"/> 3

HILOS	<input type="checkbox"/> 3
	<input type="checkbox"/> 4
	<input checked="" type="checkbox"/> 5



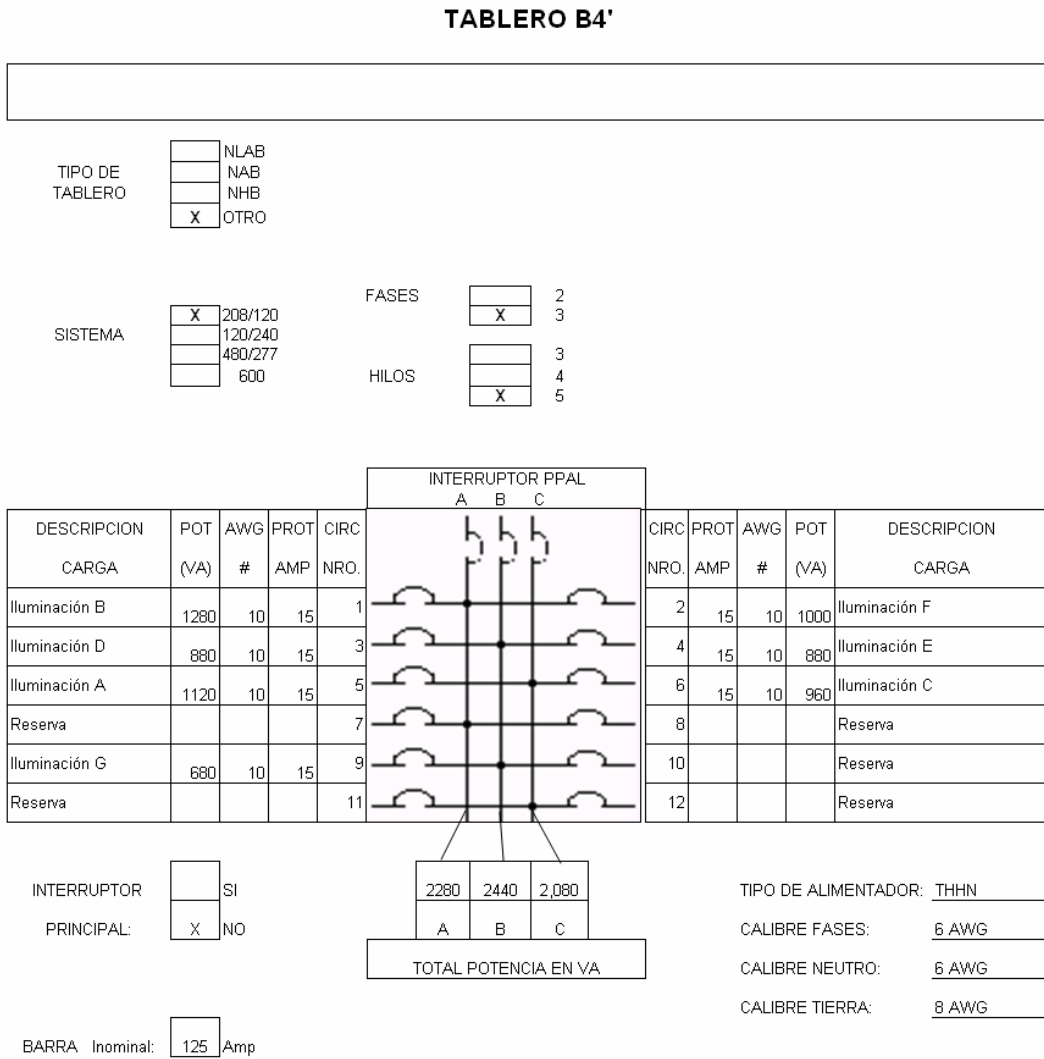
INTERRUPTOR PRINCIPAL:	<input type="checkbox"/> SI
	<input checked="" type="checkbox"/> NO

BARRA Inominal: Amp

5500	5840	5,300
A	B	C
TOTAL POTENCIA EN VA		

TIPO DE ALIMENTADOR:	THHN
CALIBRE FASES:	2 AWG
CALIBRE NEUTRO:	2 AWG
CALIBRE TIERRA:	8 AWG

Figura 52. Diagrama unifilar, cuarto nivel edificio B, subtablero B4'



Para la sub-red eléctrica, especifican los calibres de conductores, protecciones y balance de cargas, así como la identificación de cada circuito, la nomenclatura de los circuitos coincide con lo especificado en el apartado de diseño de iluminación y fuerza tratado en el capítulo 2.

Nuevamente, se aclara que para los alimentadores, tanto los conductores de fases como los conductores neutros deberán ser del mismo calibre, mientras que para los ramales, el calibre del conductor de tierra no deberá ser menor del 12 AWG, además, el conductor neutro no podrá ser utilizado como conductor de tierra, y éstos solo tendrán un punto de unión en la red de tierra física.

Los conductores deberán ser del tipo THHN debido a que su aislamiento lo hace más resistente al esfuerzo mecánico, así como soportar temperaturas mayores, esto último le da mayor capacidad de conducción de corriente. Los centros de carga deberán ajustarse a los requerimientos de número de polos, fases, capacidad de barras y número de hilos, al respecto de los conductores neutrales y tierras, no deberán unirse en el centro de carga.

4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LOS EDIFICIOS

4.1. Comparación del edificio A y B

4.1.1. Comparación de los conductores ramales

La carga instalada actual se encuentra alimentada por conductores calibre 10 AWG, tanto en los circuitos de fuerza como en los circuitos de iluminación, esto concuerda con los resultados del nuevo diseño, ya que en ningún caso se excede el calibre 10 AWG para ningún circuito.

4.1.2. Comparación de Iluminación

En esta área es donde mayor desigualdad se ha encontrado, pues actualmente el número de luminarias instaladas no llenan los requerimientos mínimos de iluminación, tanto por falta de luminarias, como por el mal estado en que se encuentran, en la sección 1.3.1 se trató este tema, en ella se detallan las tablas de comparación para ambos edificios.

4.1.3. Comparación de carga por edificio

Existe una diferencia de unos pocos KVA por nivel en cada edificio, entre el diseño y la carga instalada actual, esto se debe a que el diseño de iluminación requiere de mayor carga, pues en cada nivel es necesario agregar cierta cantidad de lámparas para cumplir con las necesidades de iluminación.

Esto puede observarse en la tabla LII, donde se especifica la carga instalada actual y la carga de diseño para ambos edificios.

Tabla LII. Comparación de carga instalada según niveles, edificios A y B, CUM

Datos de diseño Edificio A						Datos actuales Edificio A					
	Tablero Secundario VA	sub tablero VA	Tablero cc 2°. nivel VA	Tablero ff 2°. nivel VA	Total VA		Tablero secundario VA	Sub tablero VA	Tablero cc 2°. nivel VA	Tablero ff 2° nivel VA	Total VA
primer nivel	15400	10980			26380	primer nivel	27460	No existe			27460
segundo nivel	16560	11980	6840	13140	48520	segundo nivel	26440	No existe	6840	13140	46420
tercer nivel	16580	6760			23340	tercer nivel	19740	No existe			19740
cuarto nivel	16760	6760			23520	cuarto nivel	19920	No existe			19920
Total edificio					121760	Total edificio					113540
Datos de diseño Edificio B						Datos actuales Edificio B					
primer nivel	21660	25680			33300	primer nivel	30280	No existe			30280
segundo nivel	13700	6880			20580	segundo nivel	18580	No existe			18580
tercer nivel	16460	6800			23260	tercer nivel	19540	No existe			19540
cuarto nivel	15920	6800			22720	cuarto nivel	18480	No existe			18480
Total edificio					99860	Total edificio					86880
Total instalada					221620	Total instalada					200420

4.1.4. Comparación de conductores alimentadores

Como se observa en la tabla LIII entre los alimentadores de diseño y actuales para cada nivel, existe muy poca diferencia, dando lugar a futuras modificaciones sin necesidad de cambiar el calibre de ellos.

Tabla LIII. Comparación entre conductores ramales de diseño y actuales

Edificio A						
	Calibre (diseño)	Neutral (diseño)	Tierra (diseño)	Calibre (actual)	Neutral (actual)	Tierra (actual)
Primer Nivel	4 AWG	4 AWG	8 AWG	2/0	2 AWG	4 AWG
Segundo Nivel	2 AWG	2 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG
Tercer Nivel	4 AWG	4 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG
Cuarto Nivel	4 AWG	4 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG

Edificio B						
	Calibre (diseño)	Neutral (diseño)	Tierra (diseño)	Calibre (actual)	Neutral (actual)	Tierra (actual)
Primer Nivel	2 AWG	2 AWG	8 AWG	2/0	2/0	2 AWG
Segundo Nivel	4 AWG	4 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG
Tercer Nivel	4 AWG	4 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG
Cuarto Nivel	2 AWG	2 AWG	8 AWG	2 AWG	2 AWG	4 AWG

4.1.5. Comparación de centros de carga secundarios

Los centros de carga secundarios se encuentran actualmente ubicados en cada nivel de cada uno de los edificios, siendo su capacidad de 24 circuitos cada uno, con capacidad de barras de 125 Amperios, para el diseño propuesto es necesario que en cada nivel de cada edificio se instale un centro de carga nuevo, con capacidad para 12 circuitos y 125 Amperios de capacidad de barras, a excepción del primer nivel del edificio B, donde es necesario un centro de carga con capacidad para 30 circuitos y 200 Amperios de capacidad de barras.

Estos centros de carga se describen en los diagramas unifilares como subtableros, y son necesarios debido al aumento significativo de las cargas al momento de ejecutar el presente diseño, ya que al aumentar la carga también aumentará la caída de tensión en los circuitos diseñados.

Esta información se recopila en la tabla LIV

Tabla LIV. Centros de carga necesarios en el diseño nuevo

Edificio A			
Tablero secundario A1		Subtablero A1'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	24	150 A
Tablero secundario A2		Subtablero A2'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A
Tablero secundario A3		Subtablero A3'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A
Tablero secundario A4		Subtablero A4'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A

Edificio B			
Tablero secundario B1		Subtablero B1'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	30	200 A
Tablero secundario B2		Subtablero B2'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A
Tablero secundario B3		Subtablero B3'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A
Tablero secundario B4		Subtablero B4'	
No. de polos	Capacidad	No. de polos	Capacidad
24	150 A	12	125 A

4.1.6. Comparación de centros de carga generales

El centro de carga general actual no tiene datos del fabricante, mientras que para el centro de carga de diseño, se estima que debe tener una capacidad mínima de barras de 800 Amperios y capacidad para 12 circuitos trifásicos, además debe tener capacidad para la conexión de 5 conductores principales (3 fases + 1 neutro + 1 tierra).

4.1.7. Comparación de protecciones para los circuitos alimentadores

Los circuitos alimentadores actuales se encuentran protegidos por interruptores termomagnéticos con las siguientes capacidades

Tabla LV. Comparación de protecciones para circuitos alimentadores

	Primer nivel	Edificio A Segundo nivel	Tercer nivel	Cuarto nivel
Protección actual	3x125	3x125	3x80	3x100
Protección de diseño	3x100	3x175	3x100	3x100

Edificio B				
	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel	Cuarto nivel
Protección actual	3x175	3x150	3x100	3x100
Protección de diseño	3x175	3x100	3x100	3x100

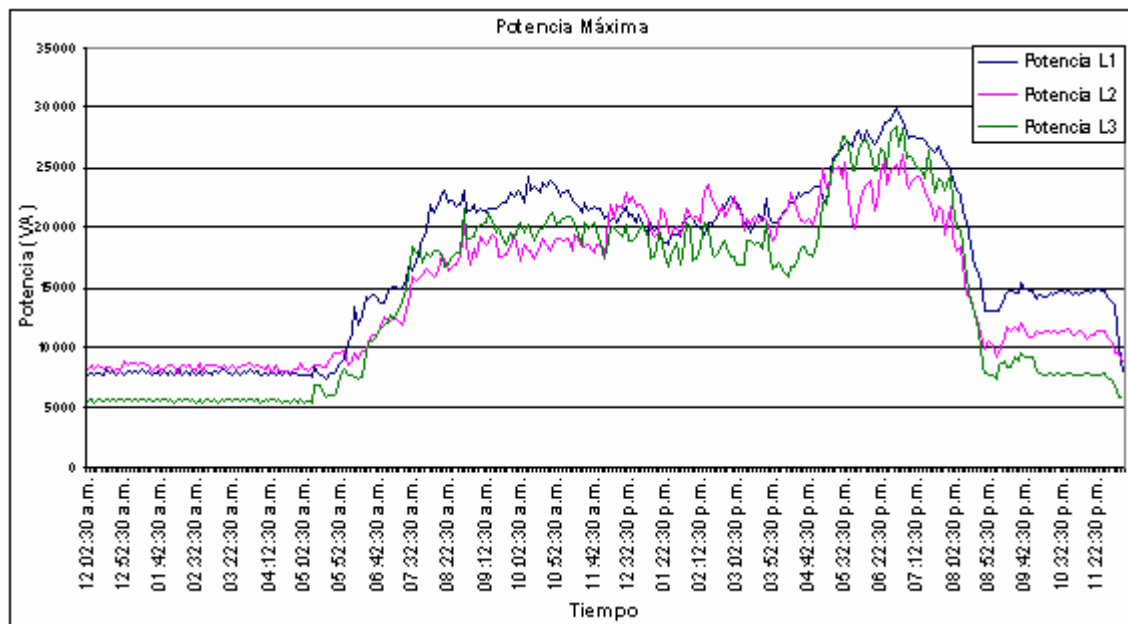
5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Demanda máxima

Esta es la máxima demanda que se tiene en una instalación o en un sistema durante un período de tiempo especificado.

Para el estudio actual, se han utilizado intervalos de tiempo de medición de quince minutos, durante una semana de mediciones continuas, de las cuales se han obtenido los datos recopilados en la figura 53.

Figura 53. Demanda máxima por fases

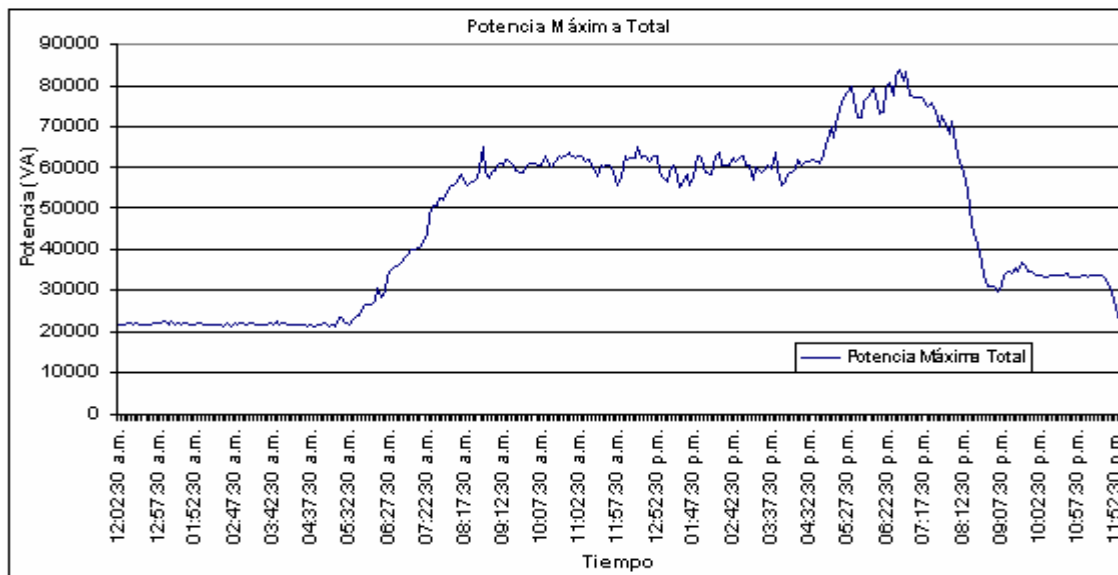


Es importante destacar que debido a la naturaleza de la instalación eléctrica, se observa que la demanda tiene su máximo entre las 5 y 8 pm, esta demanda alcanza los 30 KVA aproximadamente a las 7 pm.

Una aclaración importante es que las curvas analizadas en este capítulo hacen referencia a la demanda registrada el día miércoles 22 de marzo del año 2006, esto se hace debido a que puede apreciarse con mayor claridad su comportamiento, tomando en cuenta que el ciclo se repite de la misma forma para los de mas días de las mediciones.

Se observa también que en horarios de la mañana, el consumo en el Centro Universitario Metropolitano, tiene un valor promedio de 22 KVA desde las 8 am hasta las 5 pm, lo cual coincide con el horario de inicio de actividades tanto administrativas como educativas, mientras que en el horario vespertino, se hace necesario el uso masivo de los sistemas de iluminación para ambos edificios.

Figura 54. Demanda máxima total



En la figura 54 puede apreciarse en conjunto la potencia total en VA, observándose también que la potencia máxima total alcanza los 84 KVA en el mismo horario de las 7 pm.

El análisis anterior permite deducir que el consumo del Centro Universitario Metropolitano, guarda una constante en su comportamiento diario, debido a que las actividades en este establecimiento educativo se repiten a diario de la misma forma.

5.2. Demanda media

La demanda media es el promedio aritmético de la energía consumida, esta nos ayuda a conocer en promedio, cual ha sido el consumo del establecimiento, en el intervalo de realización de las pruebas, para esto, será necesario utilizar la ecuación 18.

$$\bar{D} = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 18}$$

Para este caso, se conoce la energía consumida durante el intervalo de medición, y el tiempo en horas de la medición, los cuales son

- a) Energía consumida: 5517640.36 Watt-hora al término de la medición
- b) Tiempo de medición: 162 horas

De acuerdo a la ecuación 18 la demanda media es:

$$\bar{D} = \frac{5517640.36 \text{ watt} * \text{hora}}{162 \text{ horas}} = 34059.5 \text{ w.}$$

El dato anterior refleja el comportamiento típico de instalaciones que trabajan de forma no continua, (24 horas diarias); como se puede observar claramente la demanda promedio, es mucho menor que la carga conectada.

5.3. Factor de carga

Es la relación entre la demanda promedio en un intervalo dado y la demanda máxima del mismo intervalo, el factor de carga responde a la ecuación 19

$$F_c = \frac{E}{t * D_{\max}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Para un período largo dará un factor de carga pequeño, dado que el consumo de energía se distribuye en un tiempo mayor. Los límites que puede tener el factor de carga son: $0 \leq F_c \leq 1$, estos límites indican que un factor de carga unidad, implica una carga constante durante un período, o el grado en que el pico de carga se sostiene durante el período.

Con esta información, sabemos que el factor de carga existente en el Centro Universitario Metropolitano es:

$$F_c = \frac{5517640.36 \text{ watt} * \text{hora}}{(162 \text{ horas})(78442.19 \text{ watt})} = 0.43$$

El factor de carga indica que en un muy bajo porcentaje se alcanza la demanda máxima, lo cual es evidente al momento de observar las curvas de carga, (figuras 53 y 54) pues únicamente entra las 5 y 8 pm se logra alcanzar una máxima demanda, el resto del día la demanda baja considerablemente.

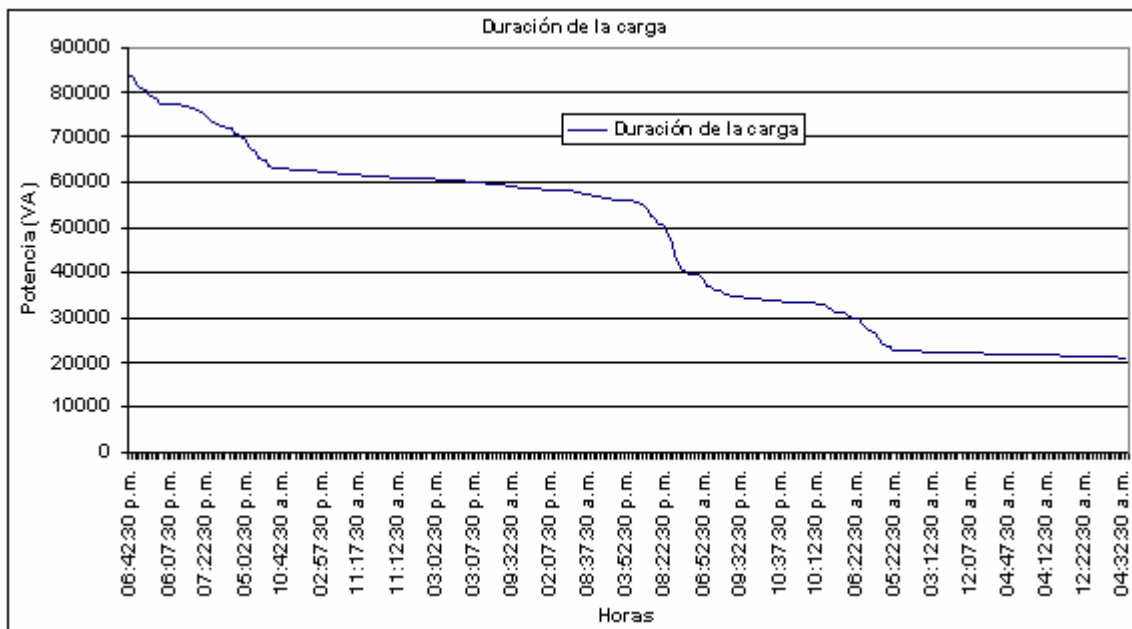
5.4. Análisis de las curvas de demanda

Finalmente, las curvas de demanda evidencian datos importantes, como el echo de que en horarios de las 12 a las 5:30 am, existe una carga total aproximada de 22 KVA, esto corresponde principalmente a sistemas de iluminación de corredores, ya que permanecen encendidos en estos horarios, además, puede asignársele un pequeño porcentaje a equipo de refrigeración que permanecen conectados a la red continuamente.

5.4.1. Curva de duración de carga

Esta es una representación gráfica de la demanda con datos ordenados del mayor al menor, nos permite observar el tiempo que se mantiene el nivel de la demanda.

Figura 55. Duración de la carga.



En la figura 55 puede observarse que la demanda máxima no se mantiene por un intervalo prolongado, puede decirse que es únicamente por unos minutos, sin embargo en una demanda promedio de 60 KVA se repite varias veces al día, cayendo nuevamente a valores pequeños en otros intervalos de tiempo.

5.5. Factor de demanda

Para un intervalo dado de un sistema es la relación entre su demanda máxima en ese intervalo y la carga total instalada. Este factor expresa el porcentaje de potencia instalada que está siendo alimentada, y responde a la ecuación 20.

$$Fd = \frac{D_{\max}}{P_{\text{inst}}} \quad \text{Ecuación 20}$$

En el análisis del Centro Universitario Metropolitano, se llegó a determinar por medio de mediciones de parámetros eléctricos, que la demanda máxima en el intervalo de medición fue de 84.075 KVA habiéndose registrado el día lunes 27 de marzo del año 2006 a las 6:47:30 pm, mientras que de acuerdo al estudio de la potencia instalada se determinó que esta asciende a 200.42 KVA, de acuerdo a los datos anteriores y a la aplicación de la ecuación 20, se tiene un factor de demanda

$$Fd = \frac{84.075KVA}{200.42KVA} = 0.42$$

Éste dato representa entonces que de la carga instalada, el 42% esta siendo alimentada.

5.6. Factor de utilización

Este es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema. Expresa el porcentaje de la capacidad del sistema que esta siendo utilizado durante el pico de carga, responde a la ecuación 21.

$$Fu = \frac{D_{\max}}{P_n} \quad \text{Ecuación 21}$$

El factor de utilización del sistema eléctrico del Centro Universitario Metropolitano es

$$Fu = \frac{84.075KVA}{150KVA} = 0.56$$

Tomando en cuenta que la capacidad nominal del banco de transformadores es de 150 KVA, el sistema se utiliza el 56% durante las horas pico, que corresponde a horarios de entre 6:50 y 7:15 pm.

5.7. Estudio técnico económico de las instalaciones eléctricas

5.7.1. Cálculo de la inversión necesaria para la implementación del nuevo diseño

Debido a que en el presente estudio se proponen distintos cambios con la finalidad de mejorar las condiciones actuales, se hace necesario un estudio aproximado de los costos que representarán para las autoridades de la Universidad de San Carlos los cambios propuestos, es necesario mencionar también que los valores que a continuación se enumeran están sujetos a

cambios debido a la variación de los precios en el mercado, tanto de mano de obra como de materiales a utilizar.

Tabla LVI. Inversión necesaria para la implementación del nuevo diseño.

Elemento	Cantidad	Precio unitario (Q)	Precio total (Q)	Costo por instalación (Q) por unidad	Total (Q)
Lámpara fluorescente 2x40 watts	512	230.00	117,760.00	50.00	143,360.00
Cable No. 12 AWG (metro lineal)	4000	3.20	12,800.00	0.00	12,800.00
Cable No. 10 AWG (metro lineal)	4000	4.96	19,840.00	0.00	19,840.00
Centros de carga secundarios	8	200.00	1,600.00	150.00	2,800.00
Flip-on para 120 voltios	75	24.00	1,800.00	0.00	1,800.00
Centro de carga principal	1	25,800.00	25,800.00	2,000.00	27,800.00
Interruptor termomagnético 3x175 A	1	2,350.00	2,350.00	0.00	2,350.00
Interruptor termomagnético 3x125 A	1	1,164.80	1,164.80	0.00	1,164.80
Interruptor termomagnético 3x100 A	6	950.00	5,700.00	0.00	5,700.00
Cable 500 MCM (metro lineal)	250	350.82	87,705.00	30,000.00	117,705.00
pararrayos	1	15,000.00	15,000.00	8,000.00	23,000.00
Cableado por unidad de lámpara e interruptor, o tomacorriente	1056	50.00	52,800.00	0.00	52,800.00
Total proyecto (Q.)					411,119.80

En la tabla LVI se describen los gastos que son necesarios al momento de implementar los cambios descritos en este estudio.

Debe tomarse en cuenta que la cantidad de lámparas a instalar difiere de la cantidad de lámparas que deben adquirirse, pues las que actualmente se encuentran en uso deberán reutilizarse, además, dentro de la cantidad estimada por la instalación de lámparas y cableado, se incluye la instalación del interruptor termomagnético.

También será necesario reacomodar el cableado de estas lámparas, pues debido al nuevo diseño, estas quedarán distribuidas de otra forma y en nuevos circuitos.

5.7.2. Costo del estudio de ingeniería del nuevo diseño de las instalaciones eléctricas de los edificios A y B, del CUM

El costo que representaría para la Universidad de San Carlos de Guatemala el estudio actual aparece desglosado a continuación.

Tabla LVII. Inversión necesaria para el estudio de ingeniería

Estudio y diseño de los sistemas de iluminación y fuerza	Q.5,000.00
Estudio y diseño del sistema de tierra física	Q.8,000.00
Estudio de calidad de la energía	Q.6,000.00
Evaluación de las condiciones del cableado actual	Q.5,000.00
Dimensionamiento del centro de carga principal	Q.3,000.00
Dimensionamiento de conductores principales	Q.3,000.00
Estudio y diseño del sistema de pararrayos	Q.8,000.00
Evaluación del banco de transformadores actual	Q.4,000.00
Total por estudio de ingeniería	Q.42,000.00

5.8. Cargos de energía en factura mensual

Los cargos por el consumo de energía eléctrica, se describen en la tabla siguiente, es necesario aclarar que estos son los costos al momento de realizado este estudio.

Tabla LVIII. Cargos por generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

GENERACIÓN Y TRANSPORTE	
Energía: cargo por generación y transporte	0,9859 Q/KWh
Potencia máxima: cargo por generación y transporte	37,8159 Q/KW
IVA por generación y transporte	12%
DISTRIBUCIÓN	
Cargo fijo por cliente	210,3100 Q/Usuario-mes
Potencia máxima: cargo por distribución	1,9892 Q/KW
Potencia contratada: cargo por distribución	122,3402 Q/KW
IVA por distribución	12%
Penalización por incumplimiento a NTSD	Variable de acuerdo a normalización

5.8.1. Generación y transporte

Son ocasionados por la necesidad de transportar la energía eléctrica desde las estaciones generadoras hasta los puntos de entrega en el sistema, así como por la necesidad de interconectar aquellas para mayor confiabilidad, este factor no es manejable por parte del usuario.

5.8.1.1. Energía

Se refiere al consumo de energía eléctrica registrada en los medidores de la persona o institución que recibe el servicio y se encuentra medida en kilovatio-hora (kWh). Este factor si puede ser manejado por parte del consumidor, ya que esta relacionado directamente a la forma de manejo del sistema eléctrico del CUM.

Con relación al consumo de energía, se comprobó que existen lugares en los cuales no existe necesidad de utilización de iluminación tales como salones de clases y corredores que no son utilizados en determinadas horas del día o noche. La desconexión de la carga de estos lugares podría representar un ahorro de energía considerable.

5.8.1.2. Potencia máxima

El cargo por demanda lo establece la empresa para mantener la capacidad de generación y las líneas de transmisión en buenas condiciones, de manera que los consumidores pueden usar la potencia eléctrica en forma inmediata.

El cargo se basa en la máxima demanda registrada por un medidor a lo largo de un periodo de tiempo, en general el periodo de tiempo es de un mes calendario. La demanda se mide generalmente en Kilovatios (kW) y el cobro de la demanda de cada consumidor está determinada por la estructura tarifaria.

Sabido esto, es de suma importancia que el personal administrativo y de mantenimiento del CUM, vigile estrictamente la forma en que es activada la carga en dichas instalaciones, implementando algún método que permita el accionamiento de las cargas que son necesarias en los momentos de consumo máximo, que como se observó ocurren regularmente en horarios de 17:00 a 20:00 horas.

Por ejemplo, restringir el uso de refrigeradoras, fotocopiadoras, hornos de microondas, y principalmente desactivar los circuitos de iluminación que no se encuentren en uso.

5.8.2. Distribución

Este cobro se efectúa para llevar el suministro eléctrico hasta la acometida del usuario. A los consumidores se les cobra normalmente de acuerdo con estas tarifas que se basan en la demanda máxima KW, penalización del factor de potencia y el de energía KWh. Asimismo, se les puede cobrar un cargo fijo por medidor.

5.8.2.1. Cargos fijos por clientes

Este cobro se debe, por el uso de personal de emisor de facturas, tomas de lecturas, etc. El cual se encuentra fuera del alcance del cliente.

5.8.2.2. Penalización por incumplimiento a NTSD

Este se debe cuando el consumidor tiene su factor de potencia por debajo de las normas establecidas, sin embargo, en las instalaciones del CUM, se presenta un factor de potencia aún dentro del establecido por las normas vigentes.

5.8.2.3. Tasa municipal

Se debe al alumbrado público, el cual a la universidad no es cobrada, porque la razón de que nadie habita en dicha instalación solamente se tienen estudiantes y trabajadores del cual cada uno de ellos la paga individualmente este cargo.

6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES

6.1. Cálculo de la capacidad de los transformadores

El dimensionamiento del banco de transformadores debe realizarse con base en un estudio previo de la carga instalada, de acuerdo con la información obtenida al momento de diseñar el nuevo sistema eléctrico del Centro Universitario Metropolitano, se sabe que la carga instalada se elevará hasta los valores indicados en la tabla LIX para el edificio A y los valores de la tabla LX para el edificio B.

Tabla LIX. Carga instalada, según nuevo diseño

Datos de diseño					
Edificio A					
	Tablero Secundario VA	sub tablero VA	Tablero cc 2°. nivel VA	Tablero ff 2°. Nivel VA	Total VA
primer Nivel	15400	10980			26380
segundo Nivel	16560	11980	6840	13140	48520
tercer Nivel	16580	6760			23340
cuarto Nivel	16760	6760			23520
Total edificio					121760

Tabla LX. Carga instalada, según nuevo diseño

Datos de diseño			
Edificio B			
	Tablero Secundario VA	sub Tablero VA	Total VA
primer Nivel	16080	17220	33300
segundo Nivel	13700	6880	20580
tercer Nivel	16460	6800	23260
cuarto Nivel	15920	6800	22720
Total edificio			99860
Total instalada			221620

De acuerdo con la estimación anterior, la carga instalada será de 221.620 KVA, lo cuál hace necesario la conexión de un nuevo banco de transformadores cuya capacidad debe responder a la relación siguiente

$$P_n = C_i \times Fd \qquad \text{Ecuación 22}$$

Donde

P_n = Potencia nominal del banco de transformadores.

C_i = Carga instalada.

Fd = Factor de demanda.

Tomando en consideración que la relación entre carga instalada actual y la carga instalada de diseño es

$$A = \frac{200.42KVA}{221.62KVA} = 0.9$$

Se observa que la carga de diseño aumentará únicamente un 10% de la carga actual, y considerando que en el porcentaje que aumenta la carga instalada, lo hará también la demanda máxima, se concluye que el factor de utilización aumentará en un 10% también, mientras que el factor de demanda permanecerá invariable, debido a la relación constante entre demanda máxima y potencia instalada.

Aplicando entonces la ecuación 22, la potencia nominal del banco de transformadores deberá ser

$$P_n = 221.620KVA * 0.42 = 93.080KVA$$

Retomando los datos obtenidos en el capítulo 5 sección 5 y 6

- Factor de demanda actual 0.42.
- Factor de demanda del nuevo diseño 0.42 (no hay variación, ya que la demanda máxima como la potencia instalada varían en la misma proporción)
- Factor de utilización actual 0.56.
- Factor de utilización del nuevo diseño 0.62 (aplicando el 10% de crecimiento de la carga instalada de diseño).

Lo anterior lleva a importantes conclusiones respecto a la capacidad del banco de transformadores del nuevo diseño y el banco de transformadores actual

- a) El banco de transformadores actual esta siendo utilizado en las horas pico un 56%.
- b) El mismo banco de transformadores aplicado al nuevo diseño, estaría siendo utilizado en horas pico un 62%.
- c) El banco de transformadores actual tiene capacidad suficiente para la carga instalada actual, y para servir la carga adicional que implica el nuevo diseño.
- d) El banco de transformadores actual trabajará más eficientemente.

6.2. Ventajas y desventajas de la conexión actual

Actualmente, el Centro Universitario Metropolitano se encuentra alimentado por un banco de tres transformadores de 50 KVA cada uno, conectados en Estrella – Estrella (Y – Y) aterrizada.

6.2.1. Ventajas

Esta conexión presenta muchas ventajas, especialmente por tratarse de un sistema eléctrico predominantemente monofásico a continuación se enumeran algunas de ellas

- a) El banco de transformadores conectados en estrella-estrella aterrizada bloquearán las corrientes de tercera armónica generadas en el lado de la carga, debido a que estas al sumarse fluyen hacia tierra, evitando que se contamine el sistema de alta tensión.

- b) Ofrece la posibilidad de balanceo de cargas gracias a que el voltaje con respecto a tierra es el mismo para las tres líneas.
- c) Independientemente de la carga monofásica conectada, tiene capacidad de conexión de carga trifásica aunque de forma mínima.
- d) Presenta tensiones de fase de 208 V, y de línea de 120 V.

6.2.2. Desventajas

Algunas desventajas que presenta esta conexión de transformadores son

- a) Aún en condiciones de carga balanceada las armónicas múltiplos de tres se sumarán en el conductor neutro. La tercera armónica es generalmente mucho mayor que el resto y es habitualmente la más significativa.
- b) Debido a las corrientes de neutro potencialmente altas en esta aplicación, un conductor neutro común debe dimensionarse tanto como al doble de los conductores de fase o llevar neutros separados por fase.
- c) Si un sistema de tres fases tipo estrella está balanceado, no habrá corrientes en el neutro. Cuando existen armónicas de corriente, algunas de las armónicas no se cancelan en el neutro, originando lecturas de alta corriente aún cuando el sistema está balanceado. Pueden ser posibles corrientes tan altas como del 200 % de los conductores de fase.
- d) Generalmente la presencia de tensión o corriente directa es una señal de una pobre puesta a tierra, severo desbalance de carga o daño de algún

equipo. Aún con la presencia de una pequeña señal, existe el problema de puesta a tierra, flujo en el conductor neutro o desbalance interno.

6.3. Propuesta para una nueva conexión del banco de transformadores

Debido a que las ventajas de la conexión actual del banco de transformadores sobrepasan las desventajas, y que estas últimas pueden ser controladas, la conexión actual es la más adecuada para el sistema eléctrico del Centro Universitario Metropolitano.

7. EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE LOS EDIFICIOS A Y B, DEL CENTRO UNIVERSITARIO METROPOLITANO, AL MERCADO MAYORISTA.

7.1. Generalidades

La Ley General de Electricidad fue creada por el Decreto No. 93-96 y su reglamento en el Acuerdo Gubernativo No. 256-97. En el Artículo 44 de la Ley se crea el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), que es una entidad privada, sin fines de lucro, cuyas funciones son:

- a) La coordinación de la operación de centrales generadoras.
- b) Interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre agentes del mercado mayorista.
- c) Establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores; específicamente cuando no correspondan a contratos libremente pactados.
- d) Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país.

El AMM es responsable de planificar anualmente la forma en que se cubrirán las necesidades de potencia y energía del sistema, tratando de

optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles. La programación anual es revisada y ajustada semanal y diariamente.

Debe también vigilar el comportamiento de la demanda y la operación del parque generador, así como del sistema de transporte. Asimismo, debe mantener la seguridad del suministro verificando constantemente las variables eléctricas del sistema y respetando las limitaciones de equipos e instalaciones asociadas.

El AMM debe cuantificar los intercambios de Potencia y Energía entre los participantes del MM y valorizarlos utilizando el Precio de Oportunidad de la Energía y el Precio de Referencia de la Potencia. Para ello, el AMM debe diseñar e implementar un sistema de medición que permita conocer en forma horaria la energía y potencia producida y/o consumida. Además, administrará los fondos que surgen de las transacciones entre los agentes que operan en el Mercado Mayorista.

El órgano directivo superior del AMM es la Junta Directiva, la cual está integrada por representantes titular y suplente de cada una de las cinco agrupaciones de participantes del mercado mayorista. Los representantes deben ser electos por un período de dos años, pueden ser reelectos.

Las funciones principales de la Junta Directiva son:

- a) Identificar faltas e incumplimientos de los participantes del Mercado Mayorista.
- b) Resolver discrepancias que surjan en las operaciones del Mercado Mayorista, en lo que sea de su competencia.

- c) Aprobar y elevar a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, documentos, estudios e informes del AMM.

El órgano ejecutor de las decisiones de la Junta Directiva será el Gerente General, quien será el responsable de realizar las tareas técnicas y administrativas para la coordinación y el correcto funcionamiento del AMM.

7.2. Agentes del Mercado Mayorista

Los agentes del Mercado Mayorista, están definidos en el artículo 5 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, y son

- Generadores
- Distribuidores
- Transportistas
- Comercializadores

Además de los agentes, se define también a los Grandes Usuarios, cualquier agente y gran usuario es llamado en general participante.

Para poder ser Agente o Gran Usuario del MM se debe cumplir con los requisitos básicos listados en la tabla LXI.

Tabla LXI. Requisitos del participante del Mercado Mayorista

Participante	Requisito
Generadores:	Potencia Máxima de por lo menos 10 MW
Distribuidores:	Tener por lo menos 20,000 usuarios
Transportistas:	Potencia firme conectada de por lo menos 10 MW
Comercializadores:	Comprar o vender bloques de energía asociada a una potencia
Grandes Usuarios:	Demanda máxima de al menos 100 KW

Fuente: AMM

Los participantes del Mercado Mayorista, tienen los siguientes derechos y obligaciones, definidos en el Artículo 6 del Reglamento del AMM.

Obligaciones:

- No realizar actos contrarios a la libre competencia.
- Cumplir con las normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
- Obedecer las instrucciones de operación del Administrador del Mercado Mayorista.
- Instalar y mantener en buenas condiciones, los equipos de medición que le sean requeridos por el AMM.
- Los consumidores deben tener contratos de potencia, que les permita cubrir sus requerimientos de demanda firme.

Derechos:

- Operar libremente en el mercado mayorista, de acuerdo a la Ley.
- Acceso a la información sobre modelos y metodología utilizados por el AMM para la programación y el despacho.

7.3. Requisitos para participar como Gran Usuario, en el Mercado Mayorista

Para participar en el Mercado Mayorista deberán cumplir con los siguientes requisitos

1. Presentar ante el AMM cuando se realicen transacciones en el Mercado a Término, de conformidad con la Norma de Coordinación Comercial No. 13, la siguiente información

1.1 Una solicitud indicando que se desea incorporar al mercado a término, un contrato o modificación a un contrato vigente.

1.2. Declaración Jurada con el resumen de las condiciones contractuales más importantes, tales como: Tipo de Contrato, Precio, plazo, punto de entrega, fórmulas de ajuste, penalizaciones, acuerdos de programas de mantenimiento, acuerdos sobre el pago de peajes y cualquier otra información que las partes consideren conveniente con el objetivo de facilitar la administración del contrato al AMM, de conformidad con la NCC-13.

1.3. Presentar la planilla correspondiente firmada por la parte compradora y vendedora.

2. Presentar la información correspondiente a la Norma de Coordinación Operativa No. 1 (NCO-1), Base de Datos, Norma de Coordinación Comercial No. 1 (NCC-1), Coordinación del Despacho de Carga, que le permitan al AMM incluir su operación en los modelos de programación y análisis de sistemas eléctricos de potencia, debiendo incluir la información correspondiente a la Programación de Largo Plazo, Programación Semanal y Despacho Diario.

3. Presentar certificación de inscripción en el Registro del Ministerio de Energía y Minas, haciendo constar en la misma el requisito señalado en el artículo 5 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, de que tienen una demanda de potencia, entendida como Demanda Máxima, que exceda 100 kW o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro, en cada punto de medición.

4. Contar con la habilitación por parte del AMM de los equipos de medición, de conformidad con lo establecido en la NCC14, Sistema de Medición Comercial.

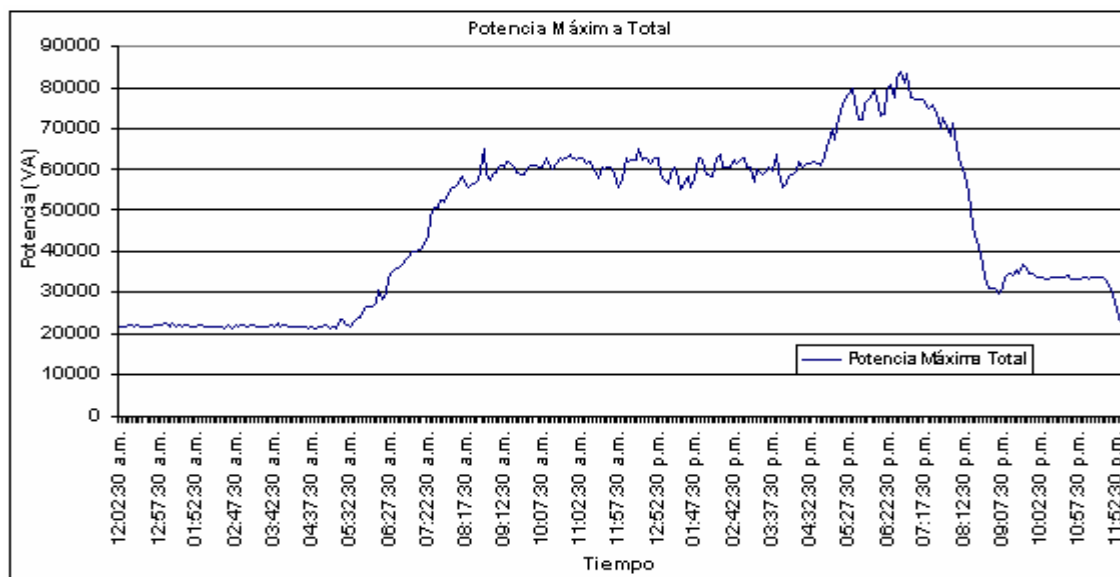
5. La información anterior debe ser presentada al AMM a más tardar dos días hábiles antes de la presentación de la información para la programación semanal, si se trata de contratos nuevos o los ya administrados por el AMM si presentan algún cambio en las condiciones del mismo.

6. Presentar cada año al AMM a partir de la fecha de inicio de operaciones en el Mercado Mayorista, una declaración jurada de que su demanda excede 100 kW o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro.

Corresponde ahora analizar si el Centro Universitario Metropolitano cumple con el requisito de carga mínima para participar en el Mercado Mayorista como Gran Usuario.

En el capítulo 5 (análisis económico), se determinó por medio de mediciones el comportamiento de la potencia como se muestra en la figura 56.

Figura 56. Potencia Máxima total



Donde se observa que la demanda máxima es 84.075 KW, por lo que la incorporación de este sistema eléctrico al Mercado Mayorista no puede realizarse, sin embargo, cabe la posibilidad de poder incorporar el Centro Universitario Metropolitano en su totalidad, pues en conjunto, este sobrepasa los 100 Kw que pide como requisito el reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.

CONCLUSIONES

1. Los circuitos de iluminación son los que predominan en el sistema eléctrico, del Centro Universitario Metropolitano, seguido de circuitos destinados al uso de computadoras y fotocopiadoras, lo cual implica que mayormente se encuentra carga inductiva conectada al sistema.
2. La capacidad nominal de los conductores tanto ramales como alimentadores no se ha sobrepasado, tabla V de la página 6, a excepción del segundo nivel del edificio A, donde ya se ha sobrepasado la capacidad de conducción de los conductores alimentadores, especialmente en horas pico.
3. Los conductores actuales se encuentran dimensionados de forma correcta y, en su mayoría se encuentran en buen estado, sin embargo, existen algunas potenciales fallas de aislamiento en algunos circuitos de fuerza e iluminación como puede apreciarse en las tablas VII y VIII de la página 8.
4. En el análisis de la distorsión armónica se encuentra que la distorsión armónica de voltaje esta en niveles aceptables, como se analizó de las figuras 23, 24 y 25 de la página 30, mientras que la distorsión armónica de corriente esta en el límite de sus valores permitidos, figuras 26, 27 y 28 de la página 31.
5. Los niveles de iluminación son insuficientes para el tipo de actividad que se desarrolla en este establecimiento, y un alto porcentaje de los salones requieren modificar estos niveles para prestar un mejor servicio, la medición de los niveles actuales de iluminación se encuentra registrada en las tablas comprendidas de la XII a la XVIII de las páginas 34 la 37.

6. Al momento de mejorar los sistemas de iluminación y fuerza se prevé un aumento en el consumo de corriente, el banco de transformadores actual de 150 KVA tiene capacidad para servir hasta una carga de 120 KVA, suponiendo un factor de utilización de 0.8, con la limitante de alcanzar un nivel alto de saturación.

RECOMENDACIONES

1. Como se describió en el la sección 1.2.1, las fases 1 y 2 presentan desbalance de corriente con relación a la fase 3, es necesario tomar acciones correctivas para evitar los problemas citados en la sección mencionada, para ello, será necesario eliminar circuitos que actualmente se encuentran alimentados de las fases 1 y 2, transfiriéndolas a la fase 3 que es la que se encuentra descargada.
2. Se sugiere no continuar sobrecargando los circuitos del segundo nivel del edificio A, además de la separación principalmente del centro de reproducción, que es donde se cuenta con la mayor cantidad de carga, constituida principalmente por fotocopiadoras.
3. Se sugiere la instalación de un banco de capacitares para corregir el factor de potencia, como se indica en el apéndice B, a este aspecto deberá dársele la importancia necesaria, ya que se han registrado penalizaciones por bajo factor de potencia.
4. Será necesaria la instalación de nuevos centros de carga en cada nivel de cada edificio estudiado, como se especifica en las tablas XXXV a la XXXVIII de las páginas 67 a la 70, al momento de mejorar los sistemas de fuerza e iluminación.
5. Se requiere mejorar el sistema de tierras, ya que no hay un aterrizaje efectivo y seguro en todo el sistema eléctrico, para esto será necesario referirse a la sección 2.5.3 de la página 77, donde se detalla el cálculo y las especificaciones del diseño.

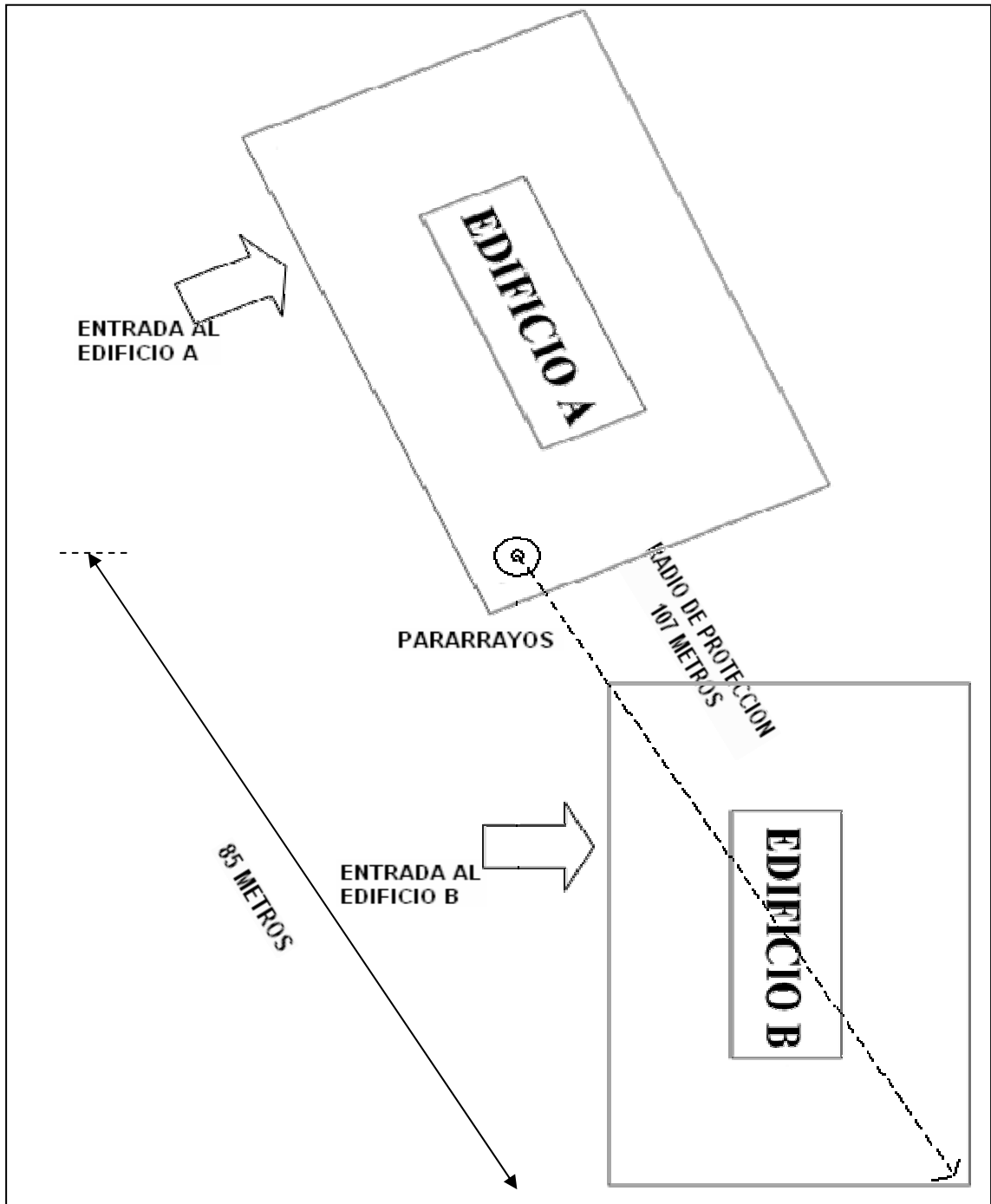
6. Es necesario un sistema de pararrayos que proteja las instalaciones de descargas atmosféricas, ya que la evaluación realizada revela la necesidad de este. En el apéndice A se ilustra la ubicación en que debe instalarse el pararrayos descrito en las páginas 79 a la 84.
7. Todo el sistema de iluminación necesita ser modificado, pues como se observa al analizar las tablas XII a la XVIII, de las páginas 34 a la 37, hay gran deficiencia en los niveles lumínicos.
8. Las evaluaciones periódicas de la calidad de energía serán necesarias para evitar problemas posteriores, al menos una vez al año, pues existe un crecimiento poco ordenado en las instalaciones del Centro Universitario Metropolitano.

BIBLIOGRAFÍA

1. KOENIGSBERGER, RODOLFO. **Instalaciones Eléctricas 1**
Guatemala: Facultad de Ingeniería, 1982.
2. FINK, DONALD G. **Manual de Ingeniería Eléctrica Tomo I y II**
13ª Edición. Editorial: McGraw-Hill.
3. DÍAZ, PABLO. **Soluciones Prácticas Para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución.**
Editorial: McGraw-Hill.
4. HUBELL LIGHTING. **Guía de selección de productos.**
5. BRATU, NAUGU Y CAMPERO LITTLEWOOD, EDUARDO.
Instalaciones Eléctricas. 2ª Edición. México. Editorial: Alfaomega, 1992.

APÉNDICE A

UBICACIÓN DE PARARRAYOS



APÉNDICE B

PROPUESTA DE MODELO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CUM

Una de las causas principales del mal estado actual de las instalaciones eléctricas del CUM es la falta de un método que permita establecer los parámetros básicos de mantenimiento preventivo, es sabido que la principal fuente de degradación de la calidad de la iluminación es la suciedad que pueda acumularse en las luminarias con el transcurrir del tiempo, igualmente, el crecimiento desordenado del sistema eléctrico ha dado lugar a desbalances en las líneas de alimentación, que repercutirán en pérdidas y acortamiento de la vida útil de los elementos del sistema.

Para fines prácticos, se listarán a continuación los elementos del sistema que deberán ser objeto de revisiones periódicas, al igual que las acciones que deberán tomarse en caso de detectarse una falla o posible falla y el tiempo transcurrido entre una y otra revisión.

ELEMENTO	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	ACCIÓN A TOMAR
Lamparas	1	2				1 Revisión visual, reparación o cambio de elemento si es necesario
Tomacorrientes	1					
Interruptores	1					
Centros de carga secundarios	7	2	1			2 Limpieza general
Centro de carga principal		1,2			4,6	
Cables ramales			3			3 Medición del nivel de aislamiento
Cables alimentadores de centros de carga secundarios			3			
Cables alimentadores de centro de carga principal			3			4 Mediciones de voltaje, corriente, factor de potencia, armónicos, etc.
Flipones secundarios			8			
Flipones principales			8			5 Mediciones de niveles lumínicos
Salones de clases				5		
						6 Medición del sistema de tierras.
						7 Mediciones de corriente y voltaje con multímetro
						8 Pruebas de funcionamiento

APÉNDICE C

DISEÑO DEL BANCO DE CAPACITORES NECESARIO PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA EN EL CUM

Supongamos una instalación de tipo inductivo con potencias activa (P), reactiva (Q) y aparente (S). Si se desea mejorar el $\cos\varphi$ a otro mejor $\cos\varphi_f$, sin variar la potencia activa P, se deberán conectar un banco de condensadores en paralelo a la entrada de la instalación para generar una potencia reactiva Q_C de signo contrario al de Q, para así obtener una potencia reactiva final Q_f . Analíticamente:

$$Q_C = Q - Q_F$$

Por un lado

$$Q = VI \sin \varphi = VI \cos \varphi \tan \varphi = P \tan \varphi$$

y análogamente

$$Q_F = P \tan \varphi_F$$

Por otro lado

$$Q_C = I^2 X_C = \left(\frac{V}{X_C} \right)^2 * X_C = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \omega C$$

Donde ω es la frecuencia ($2\pi f$) y C la capacitancia del banco de condensadores que permitirá la mejora del factor de potencia al valor deseado. Sustituyendo en la primera igualdad,

$$V^2 \omega C = P(\tan \varphi - \tan \varphi_F) = Q_C$$

de donde

$$C = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi_F)}{V^2 \omega}$$

Por medio del método descrito anteriormente, y con los datos obtenidos de las mediciones realizadas en el Centro Universitario Metropolitano, que se describen a continuación:

$$P = 10.8 \text{ Kw}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0.77$$

$$\varphi = 39.65$$

Se puede asegurar que se desea que el factor de potencia sea más o menos uniforme, 0.93 como se observa en la figura 7 de la página 23

$$\text{Cos } \varphi_F = 0.93$$

$$\varphi_F = 21.56$$

Se obtiene entonces la siguiente relación

$$Q_C = 10.8 \text{ Kw} (\tan 39.65 - \tan 21.56) = 4.68 \text{ KVAR.}$$

Es necesario hacer la aclaración que el cálculo anterior es para corregir el factor de potencia cuando el transformador se encuentra trabajando en vacío, ya que al momento de trabajar con carga, el factor de potencia se estabiliza.

Presupuesto de la adquisición e instalación del banco de capacitores

Es necesario determinar si es factible la instalación del banco de capacitores, haciendo una comparación de beneficio – costo, además de poder determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

El banco de capacitores que se propone, tiene las siguientes características:

- Banco de capacitores de 5KVAR, 220 voltios para servicio trifásico.
- Operación semiautomática.
- Gabinete metálico tipo IP55 (Protegido contra el polvo y el lanzamiento de agua en todas direcciones.
- El tipo de accionamiento puede ser manual por medio de un selector o automático por medio de un temporizador.

La selección del tipo de accionamiento se hizo tomando en cuenta que el factor de potencia cae únicamente en horas en las que las actividades han concluido, debido a eso se considera que un circuito sencillo de temporizador – contactor, es de utilidad para mantener conectado el banco el tiempo necesario, y hacer la desconexión en horas de la mañana cuando comienzan las actividades, esto se ajusta a las necesidades de corrección del factor de potencia y también a las necesidades económicas, pues no es rentable una inversión grande.

Lo anterior se afirma tomando en consideración la descripción siguiente de las penalizaciones por bajo factor de potencia.

Penalizaciones por bajo factor de potencia.	
Marzo 2006	Q273.25
Abril 2006	Q810.72
Mayo 2006	Q495.49
Octubre 2006	Q1,014.26
Promedio mensual	Q.648.43
Costo por penalización anual	Q7,781.26

El costo del banco de capacitores a instalar se describe a continuación, dicho banco de capacitores fue cotizado en la empresa RENNEN.SA ubicada en la 13ª. Calle 8-08 zona 11, ciudad de Guatemala. PBX. 2471-9209.

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Banco de capacitores fijo de 5 KVAR en gabinete metálico IP 55, voltaje de operación 220V. Con accionamiento manual (selector) o automático (temporizador)	1	Q. 3812.00	Q. 3812.00
	TOTAL			Q. 3812.00

De acuerdo a la tabla de penalizaciones registradas durante los meses de marzo, abril, mayo y octubre se estima un promedio mensual de Q. 648.43, suponiendo que la inversión se hace por medio de un crédito el cuál deberá pagarse en un plazo no mayor a 7 meses, debido a que así se hace mas rentable la inversión, y a un 14% de interés, se tendrá los datos siguientes

$$F_0 = 3812 (1.14)^{0.58} = Q.4,112.99$$

Valor a pagar en los 7 meses

$$F_1 = 648.43(1.14)^{0.5} = Q.692.33$$

Pago del primer mes.

$$F_2 = 648.43(1.14)^{0.42} = Q.685.11$$

Pago del segundo mes.

$$F_3 = 648.43(1.14)^{0.33} = Q.677.08$$

Pago del tercer mes.

$$F_4 = 648.43(1.14)^{0.25} = Q.670.02$$

Pago del cuarto mes.

$$F_5 = 648.43(1.14)^{0.16} = Q.662.16$$

Pago del quinto mes.

$$F_6 = 648.43(1.14)^{0.08} = Q.655.26$$

Pago del sexto mes.

$$F_7 = 4112.99 - 692.33 - 685.11 - 677.08 - 670.02 - 662.16 - 655.26 = 71.03$$

Como pago del séptimo mes se tienen Q.71.03

Se deduce que en siete meses se recuperará la inversión, pues con el ahorro de Q648.43 mensuales al no existir penalizaciones, se cubre el costo del banco.

Para tomar la decisión de si se instala o no el banco de capacitores, es necesario hacer una evaluación económica en cuanto a si vale la pena o no hacer la inversión, esto se realizará por medio de la evaluación del Valor Presente Neto, el cual permite establecer la rentabilidad o no de cierto proyecto.

Para esto se tomará en cuenta que los gastos anuales por mantenimiento se calculan en Q 600.00 pues es un equipo que regularmente esta libre de mantenimiento, además se conoce que generará un ingreso anual de Q7,781.16, y se desea obtener un 15% de utilidad anual.

$$VPN = 7,781.16 \times \left[\frac{(1.15)^5 - 1}{0.15(1.15)^5} \right] - 600 \times \left[\frac{(1.15)^5 - 1}{0.15(1.15)^5} \right] - 3,280$$

$$VPN = 7,781.16 (3.352) - 600(3.352) - 3,280 = 26,082.44 - 2,011.20 - 3,280 =$$

$$VPN = Q. 20, 791.24$$

De acuerdo al cálculo anterior $VPN > 0$ lo cual indica que el proyecto es rentable.

Desde el punto de vista eléctrico se hace necesaria la instalación del banco de capacitores, pues un bajo factor de potencia repercutirá en la disminución de la vida útil de los elementos del sistema eléctrico, en este caso de los transformadores.

En conclusión, se sugiere la instalación del banco de capacitores, de las características mencionadas, debido a las razones ya expuestas.

Debido a que se trata de un sistema conectado permanentemente a las líneas de alimentación, éste deberá instalarse en paralelo al centro de carga principal, pues existe el espacio físico necesario para su instalación, además de contar con las medidas de protección necesarias, ya que no se encuentra a la intemperie y no es de fácil acceso a personas no calificadas.