



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

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA**

Osman Esau Gomez Rivera
Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OSMAN ESAU GOMEZ RIVERA

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO 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 Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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:

ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha agosto de 2005.

Osman Esaù Gómez Rivera



Guatemala, 28 de febrero de 2007
Ref. EPS. C. 158.02.07

Ing. Angel Roberto Sic García
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Sic García.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor - Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **OSMAN ESAÚ GÓMEZ RIVERA**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, cuyo título es titulado **“ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor - Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica – Eléctrica



KIER/jm



Guatemala, 28 de febrero de 2007
Ref. EPS. C. 158.02.07

Ing. Renato Escobedo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, **OSMAN ESAÚ GÓMEZ RIVERA**, quien fue asesorado y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del asesor y supervisor, en mi calidad de director apruebo su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todas.”

Ing. Ángel Roberto Sic García
Director Unidad de EPS



ARSG/jm



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Osman Esaú Gómez Rivera titulado: **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
DIRECTOR



GUATEMALA, 14 DE MAYO 2,007.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Osman Esau Gómez Rivera**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, mayo de 2007



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Mario Gómez, Gloria Rivera, Edelma López, como un reconocimiento al apoyo incondicional que me han brindado siempre, sus esfuerzos y dedicación.
- Mis hermanos** Edwin, Marly, Araceli, Ingrid, Marina, Ana, Valentin, Sulma, por su cariño, apoyo y ser los pilares fundamentales en el logro de nuestros sueños.
- Mis compañeros** Bayron Cuyan, Carlos Velásquez, leche, Juan Pozuelos, Steev, Lencho, Mynor, oscar, Gustavo Catun, Selvin rodas, Narciso, Jose Luis; con quienes el trabajo en equipo nos ha permitido siempre superar la adversidad y festejar los triunfos alcanzados.
- Mis amigos** Pastor David Barrera y Yaky de barrera , Anayely, y a todos los del Rio de Dios, aquí se cumple aquello que dice “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”
- Especialmente A:** La mujer más dulce, bella y tierna que conozco, mi abuelita, Victoriana Dominga Estrada, gracias por que con la semilla que sembró en mí, hoy se puede ver un fruto.

AGRADECIMIENTO A

Dios	Por ser mí pastor, mi luz, mi salvación, mi abrigo, y mi guía en la vida y darme la capacidad y fuerza de voluntad necesaria para alcanzar mis metas.
División de servicios generales	Por permitir la realización de este proyecto y la asesoría prestada al mismo.
Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales	Por su amplia colaboración en la realización de este proyecto.
Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Ing Francisco Gonzales, Ing Edwin segura, Ing Guillermo Bedolla, Ing Luis Duran; Gracias por que con su esfuerzo y dedicación han fomentado en muchos estudiantes, la esperanza de una Guatemala mejor.
Ing. Kenneth Estrada	Por su amistad y el aporte de sus conocimientos y experiencia a través de la asesoría prestada en la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES	
ELÉCTRICAS ACTUALES	1
1.1. Instalaciones.....	1
1.1.1. Caracterización de cargas.....	2
1.1.2. Tableros.....	7
1.1.2.1. Condición actual.....	8
1.1.3. Estado actual y dimensionamiento de conductores.....	11
1.1.3.1. Resistencia de aislamiento.....	11
1.1.3.2. Capacidad, calibre y secciones de conductores eléctricos.....	13
1.1.4. Tuberías.....	14
1.1.5. Protecciones.....	15
1.1.5.1. Prueba de disparo.....	15
1.2. Análisis de redes.....	16
1.2.1. Corrientes.....	17
1.2.2. Voltajes.....	19
1.2.3. Factor de potencia.....	22

1.2.4.	Potencias.....	25
1.2.4.1.	Potencia activa.....	25
1.2.4.2.	Potencia reactiva.....	27
1.2.4.3.	Potencia aparente.....	29
1.2.5.	Análisis de armónicos.....	29
1.2.5.1.	Distorsión armónica THDV.....	30
1.2.6.	Desbalance.....	33
1.3.	Red de tierras.....	35
1.3.1.	Condición actual.....	36
1.3.2.	Medición y determinación de su utilidad.....	36
1.4.	Pararrayos.....	36
1.4.1.	Condición actual.....	37
1.5.	Iluminación.....	37
1.5.1.	Revisión visual.....	37
1.5.2.	Características de las luminarias.....	38
1.5.3.	Iluminación en áreas de parqueo.....	38
1.5.4.	Medición del nivel de iluminación.....	38
1.6.	Instalaciones especiales.....	39
2.	DIAGRAMAS UNIFILARES.....	41
2.1.	Diagrama unifilar de la red eléctrica general.....	41
2.2.	Diagrama unifilar de la sub-red eléctrica.....	44
3.	ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	
	ACTUALES.....	47
3.1.	Cálculo de conductores.....	47
3.1.1.	Cálculo de conductores por caída de tensión.....	47
3.1.2.	Cálculo de conductores por capacidad de corriente.....	53
3.1.3.	Elección de protecciones.....	57
3.2.	Cálculo de tuberías.....	58

3.3.	Diseño del sistema de iluminación.....	62
3.3.1.	Iluminación de Interiores.....	62
3.3.2.	Iluminación de parqueos.....	75
3.4.	Diseño de red de tierras.....	78
3.5.	Cálculo de pararrayos.....	79
4.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	83
4.1.	Conductores.....	85
4.2.	Comparacion de protecciones.....	85
4.3.	Canalizaciones.....	86
4.4.	Sistema de Iluminacion.....	87
4.5.	Red de Tierras y Pararrayos.....	88
5.	IMPACTO TÉCNICO RECÍPROCO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	89
5.1.	Distorsión armónica.....	90
6.	EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL EDIFICIO S-7 AL MERCADO MAYORISTA COMO GRAN USUARIO.....	93
6.1.	Requisitos para la incorporación al Mercado Mayorista.....	94
6.2.	Factibilidad de incorporar el edificio al Mercado Mayorista.....	96
7.	COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAMBIOS SUGERIDOS A LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	97
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXO A.....	107
	ANEXO B.....	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Curva de demanda diaria de potencia activa	4
2. Curva de demanda diaria de potencia reactiva	4
3. Gráfico corriente en línea uno contra tiempo.....	17
4. Gráfico corriente en línea dos contra tiempo.....	18
5. Gráfico corriente en línea tres contra tiempo.....	18
6. Voltaje en línea uno contra tiempo.....	20
8. Voltaje en línea dos contra tiempo.....	20
9. Voltaje en línea tres contra tiempo.....	21
10. Factor de potencia de L1.....	23
11. Factor de potencia de L2.....	24
12. Factor de potencia de L3.....	24
13. Potencia activa línea uno.....	26
14. Potencia activa línea dos.....	26
15. Potencia activa línea tres.....	27
16. Potencia reactiva línea uno.....	28
17. Potencia reactiva línea dos.....	28
18. Potencia reactiva línea tres.....	29
19. Diagrama unifilar red general entrada USAC periférico.....	42
20. Diagrama unifilar red general entrada USAC Av. Petapa.....	43
21. Diagrama unifilar acometida.....	44
22. Diagrama unifilar distribución primer nivel.....	45
23. Diagrama unifilar distribución segundo nivel.....	46
24. Distribución de luminarias salón 206, (planta).....	73
25. Distribución de luminarias salón 206 (Elevación, largo).....	74

26. Distribución de luminarias salón 206 (Elevación, ancho).....	74
27. Distribución de luminarias en área de parqueo.....	77
28. Dimensiones del poste y accesorios.....	78
29. Varilla captadora.....	81
30. Gráfica de Distorsión Armónica.....	92

TABLAS

I. Equipo eléctrico.....	3
II. Tablero principal.....	8
III. Tablero secundario primer nivel.....	9
IV. Tablero secundario segundo nivel.....	10
V. Valores de resistencia de aislamiento.....	12
VI. Características de los conductores en tableros secundarios.....	13
VII. Corrientes máxima y promedio a través de las líneas.....	19
VIII. Desbalance de tensión en porcentaje.....	34
IX. Nivel de iluminación y características ambiente.....	39
X. Cálculo de conductores, circuitos derivados primer nivel.....	51
XI. Cálculo de conductores, circuitos derivados segundo nivel.....	52
XII. Cálculo de conductores, acometida y alimentadores.....	52
XIII. Cálculo de conductores por corriente, circuitos derivados primer nivel.....	55
XIV. Cálculo de conductores, circuitos derivados segundo nivel.....	56
XV. Cálculo de protecciones primer nivel.....	57
XVI. Cálculo de protecciones del segundo nivel.....	58
XVII. Área de conductores conducidos en canaleta.....	59
XVIII. Cantidad de conductores por tubería.....	62
XIX. Relaciones de cavidad y porcentaje de reflectancia.....	65
XX. Porcentaje de reflectancia efectiva para piso y techo.....	66

XXI. Determinación del coeficiente de utilización.....	68
XXII. Determinación del factor de corrección para el coeficiente de utilización.....	69
XXIII. Comparación de conductores primer nivel.....	84
XXIV. Comparación de conductores segundo nivel.....	84
XXV. Comparación de protecciones primer nivel.....	85
XXVI. Comparación de protecciones segundo nivel.....	86
XXVII. Comparación de niveles de iluminación	87
XXVIII. Costo de materiales Parqueo.....	98
XXIX. Costo de materiales varios.....	98
XXX. Costo de materiales primer nivel.....	99
XXXI. Costo de materiales segundo nivel.....	100

GLOSARIO

Acometida

Es el conjunto de conductores y componentes que conectan los servicios de la empresa suministradora o los sistemas eléctricos de las diferentes propiedades públicas o privadas en un punto de entrega. Estas pueden ser aéreas o subterráneas, según sean los requerimientos.

Canalización

Consiste en un sistema de canales, canaletas, ductos o tubos por donde se hacen pasar los conductores, con el fin de protegerlos mecánicamente y evitar el contacto de personal no calificado con los mismos.

Capacidad Nominal

La capacidad nominal son todos aquellos valores los cuales indican que se esta trabajando al cien por ciento de su valor indicado.

Carga Instalada

Es la suma de la capacidad nominal de todo el equipo eléctrico que se conectará a la acometida de la empresa.

Conductor neutro

Cuando hay tres o más conductores de servicio, el conductor conectado a tierra es definitivamente un conductor neutro, pero si se trata de un circuito de dos conductores, el conductor conectado a tierra se denomina conductor conectado a tierra.

Conductores

Son los materiales en forma de alambre que conducen la corriente eléctrica bajo determinadas condiciones. Los cuales pueden ser desnudos o aislados dependiendo del uso que se les dé.

Conectores

Son aquellos dispositivos que se utilizan para efectuar la conexión eléctrica entre dos o más conductores eléctricos.

Conexión

Es el empalme entre dos o más conductores eléctricos.

Contador

Es un aparato electromecánico. Ya sea auto-contenido o con equipo adicional de medición, que se usa para medir la energía eléctrica utilizada por el usuario.

Demanda Estimada

Es un valor de potencia que determina la empresa, de acuerdo a la carga instalada.

Electrodos

Son las varillas especialmente diseñadas para insertarlas en el suelo y conectar a ellas un sistema eléctrico aterrizado.

Energía eléctrica

No es más que potencia integrada en el tiempo, se mide en kilovatio-hora (KWH).

Estroboscopio

Instrumento que permite ver como lentos o inmóviles objetos que se mueven de forma rápida y periódica, mediante su observación intermitente.

Factor de potencia

Es la relación entre la potencia eficaz (watt) y potencia aparente (VA)

Fusibles

Son dispositivos que se utilizan para la protección de circuitos, de tal manera que con el paso de una corriente en exceso a su capacidad, se funden, provocando con ello la apertura del circuito.

Índices de Calidad

Son indicadores individuales y/o globales que determinan la calidad de energía eléctrica en el punto de medición

Interruptor

Es el aparato diseñado para cerrar o abrir un circuito por medio manual o una corriente eléctrica predeterminada sin dañarse cuando se usa dentro de los límites de su capacidad, la que se mide en amperios a un voltaje determinado.

Mercado Mayorista

Es el conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y largo plazo entre los participantes del mercado

Potencia activa

Es el producto voltaje por corriente por el factor de $\cos \phi$, es decir $V \cdot I \cdot \cos \phi$, se llama potencia activa y se representa con la letra mayúscula P. la unidad de medida de potencia activa es el vatio y su múltiplo más empleado es el kilovatio (KW).

Potencia aparente

El producto voltaje $V \cdot I$ se llama potencia aparente y se representa por la letra mayúscula S. la unidad de la potencia aparente es el vatio-amperio y su múltiplo mas empleado es el kilovoltio amperio (KVA). La potencia aparente es una medida de la carga del sistema de distribución.

Potencia reactiva

Al producto entre el voltaje por corriente por $\sin \phi$ se llama potencia reactiva y se representa por la mayúscula Q. la unidad de medida es el Voltio Amperio Reactivo (VAR). La potencia reactiva se utiliza para corregir el factor de potencia.

Sobre corriente

Es la corriente en exceso a la requerida por cualquier equipo eléctrico para su funcionamiento.

Sobrecarga

Es el exceso de la carga nominal que puede sobre llevar un equipo o el exceso de ampacidad de un conductor que al continuar por un período más o menos largo puede producir daños peligrosos al equipo o conductores por sobrecalentamiento.

Tablero de Distribución

Es un gabinete que contiene barras y dispositivos de sobre corriente, ya sea en forma de fusibles o interruptores automáticos, accesibles por su frente para la maniobra.

Voltaje Nominal

Es el valor asignado a la magnitud del voltaje de un sistema con el fin de clasificarlo. Por ejemplo: 120-240, 240-480 voltios, etc. El voltaje medido podrá variar del valor nominal en un rango que permita la operación satisfactoria del equipo.

LISTA DE SÍMBOLOS

φ	Ángulo de desfase entre los valores efectivos de voltaje y corriente.
∞	Valor infinito.
Δ	Intervalo de cambio del valor de una variable.
Ω	Resistencia eléctrica en ohms.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Fp	Factor de potencia.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
NEC	Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica.
NTIE	Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realiza un análisis del estado actual de los diferentes elementos que componen la instalación eléctrica del edificio S-7.

En este análisis incluye entre otras cosas la caracterización y cuantificación de la carga instalada, una recopilación de información respecto de las características y estado de los elementos que componen la instalación y un análisis de la calidad de energía con que se cuenta en el edificio.

Con base a la información recabada se realiza un rediseño de las instalaciones eléctricas del edificio, que incluye redimensionamiento de conductores, cálculo de canalizaciones, diseño de puesta a tierra y sistema de pararrayos; también, se realiza un rediseño del sistema de iluminación de los ambientes interiores y exteriores del edificio.

Finalmente, se realiza una evaluación al edificio que permite establecer la factibilidad de incorporarse al Mercado Mayorista como Gran Usuario.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar la condición actual de las instalaciones eléctricas del edificio S-7 y; proponer las mejoras correspondientes, mediante el rediseño de dichas instalaciones eléctricas.

- **Específicos**

1. Determinar la condición actual de los diferentes elementos que conforman la red eléctrica del edificio.
2. Determinar mediante un análisis de redes la calidad de energía eléctrica que se tiene en el edificio y la influencia de la carga sobre ésta.
3. Rediseñar el sistema eléctrico de acuerdo con las condiciones actuales de la carga instalada y la función del edificio.
4. Rediseñar el sistema de iluminación de los ambientes interiores y exteriores del edificio.
5. Evaluar la posibilidad de incorporar al edificio S-7 al Mercado Mayorista como Gran Usuario.

INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la población estudiantil universitaria durante los últimos años, ha hecho necesario que la infraestructura de la universidad principalmente en el campus central, sea modificada para poder atender la demanda creciente de educación superior; esta demanda ha hecho necesaria la creación de nuevas oficinas de atención al estudiante, centros de investigación, bibliotecas y salones de clases; todas estas modificaciones hechas en los edificios existentes ha provocado que las instalaciones eléctricas de los mismos sean modificadas constantemente sin realizar estudios previos.

En el presente trabajo se realiza un estudio profundo del estado actual de las instalaciones eléctricas del edificio S-7, para determinar las consecuencias que sobre dichas instalaciones han tenido las constantes modificaciones hechas; de igual manera se presenta un rediseño de los principales elementos que componen la instalación eléctrica del edificio, cuya implementación permitirá tener una red eléctrica eficiente y segura, que además prolongará su vida útil.

1. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

1.1. Instalaciones

El edificio S-7 de la Universidad de San Carlos, tiene aproximadamente treinta años de estar en funcionamiento, fue construido en un principio con el objetivo de ser utilizado como edificio de aulas, sin embargo, con el transcurso del tiempo se fueron instalando en él una serie de oficinas creadas por la facultad de Ciencias Jurídicas, entre estas podemos mencionar la oficina del control académico, la oficina de atención estudiantil, la oficina de unidad de planificación, las cuales se encuentran ubicadas en el primer y segundo nivel de dicho edificio.

Una instalación eléctrica es el conjunto de equipos y accesorios necesarios para llevar la energía eléctrica, desde un punto de alimentación o toma a diferentes puntos para su utilización en maquinas y aparatos receptores.

Para que una instalación eléctrica cumpla con la necesidad del usuario debe encontrarse enlazada a un sistema que proporcione una buena calidad de servicio. Cuando se tiene calidad de servicio es porque el servicio es continuo, tiene una buena regulación de voltaje y frecuencia.

1.1.1. Caracterización de cargas

Un alto porcentaje de los elementos y equipo conectados a la red de distribución interna de energía eléctrica del edificio es de carácter inductivo, predominando el sistema de iluminación que esta compuesto por lámparas fluorescentes; por ser un edificio ocupado por oficinas y aulas, utiliza un gran número de equipo electrónico de estado sólido, tal es el caso de computadoras, fotocopiadoras de mesa, impresoras y faxes entre otros. Entre el equipo poco convencional también de carácter inductivo se encuentran ventiladores de techo y de pedestal.

El edificio también cuenta con dos ambientes en los cuales se utiliza equipo eléctrico que constituye una carga considerablemente alta para la instalación eléctrica del mismo;

- el equipo considerado como carga inductiva es la utilización de motores y elementos electrónicos para su funcionamiento;
- el otro ambiente considerado que posee también carga inductiva, es la cafetería la cual cuenta con un refrigerador y un horno de microondas.

Dentro del poco equipo considerado como de carácter resistivo se encuentran los secadores de manos instalados en los sanitarios, cafeteras y un tostador de pan.

La siguiente tabla muestra la descripción y características del equipo eléctrico utilizado en el edificio.

Tabla I. Equipo eléctrico

Descripción	Voltaje nominal (volts)	Potencia (watts)
Equipo de iluminación		
Lámpara fluorescente	120	80
Lámpara fluorescente	120	40
Cafetería		
Extractor de aire	120	375
Horno de Microondas	120	1700
Refrigerador	120	200
Tostador de pan	120	1100
Fotocopiadora		
Fotocopiadora de mesa	120	430
Fotocopiadora de piso	120	1430
Guillotina	120	900
Equipo de oficina		
Impresora	120	80
Computadora	120	350
Máquina offset	120	1300
Proyector halógeno	120	800
Ventilador de pedestal	120	85
Ventilador de techo	120	70
Baño		
Secadora de manos	120	1800

Las siguientes figuras muestran las curvas de demanda de potencia activa y reactiva diaria del edificio S-7 que definen el comportamiento de la carga en función del tiempo a lo largo del día; puede observarse que el período de menor demanda de potencia se da entre las 23:00 hrs. y las 07:00 horas, mientras que el período de mayor demanda esta entre las 18:00 y las 21:00 hrs.

Figura 1. Curva de demanda diaria de potencia activa

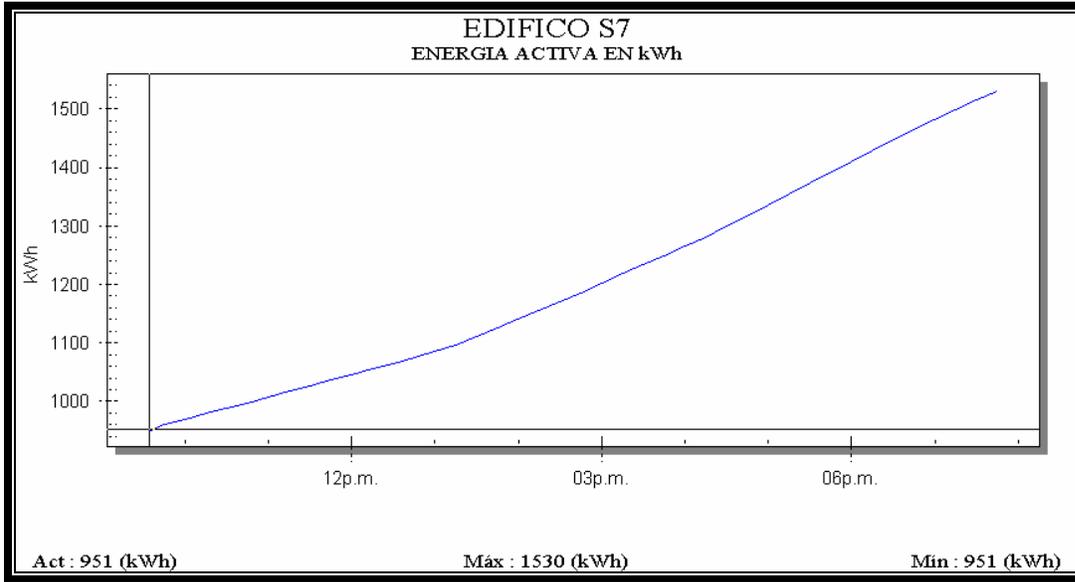
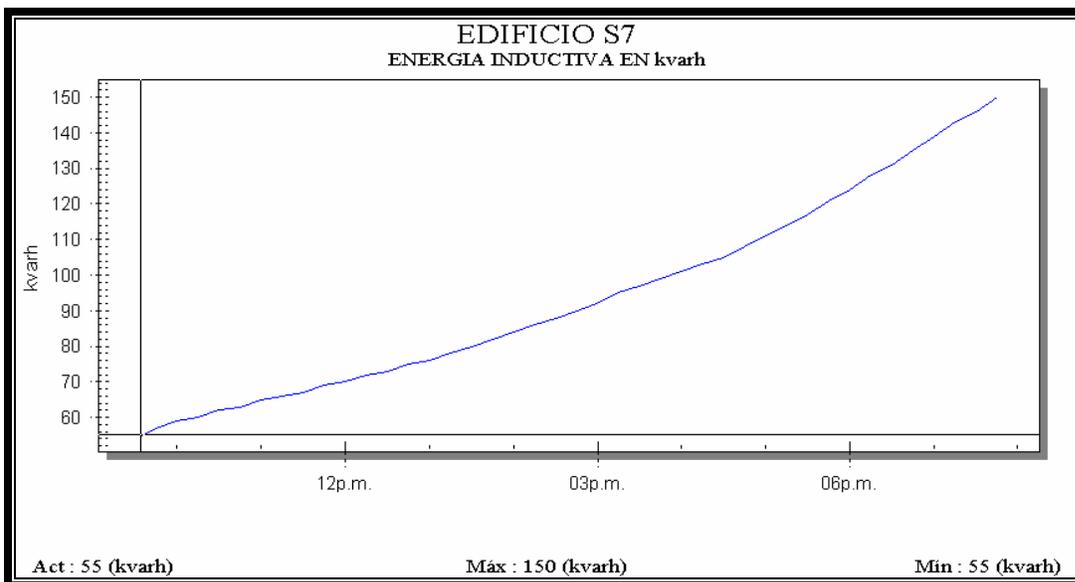


Figura 2. Curva de demanda diaria de potencia reactiva



Las características de la carga del edificio, así como, el cálculo de los diferentes factores que la describen se muestran a continuación;

- Factor de potencia de 0.92 en promedio.
- Frecuencia de 60 Hertz
- La energía consumida durante el día es de 1500 KWh.
- La demanda máxima (Dmax) es de 75 KW.

La demanda promedio se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$DP = \frac{\text{Energía consumida en el periodo}}{\text{No. horas del periodo}} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

DP: demanda promedio

Aplicando esta ecuación se obtiene que la demanda promedio es de:

$$DP = \frac{1500 \text{ KWh}}{24 \text{ h}} = 62.5 \text{ KW}$$

El factor de carga se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Fc = \frac{DP}{D_{\max}} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

DP: demanda promedio

Dmax: demanda máxima

Aplicando esta ecuación se obtiene que el valor del factor de carga es de:

$$F_c = \frac{62.5 \text{ - KW}}{75 \text{ - KW}} = 0.833$$

El factor de carga indica la forma en que se utiliza el equipo eléctrico de una instalación, el valor de 0.833 obtenido indica que la demanda de potencia no es uniforme a lo largo del tiempo, esto se observa claramente en la curva de demanda de potencia activa. El factor de pérdidas que es igual al porcentaje de tiempo requerido por la demanda máxima para producir las mismas pérdidas que se tienen por la demanda real en un lapso definido, se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{\sum_0^{24} P_{hr}^2}{24 * D_{max}^2} * 100(\%) \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

Phr: demanda por unidad de tiempo

Dmax: demanda máxima

Aplicando esta ecuación se obtiene que el factor de pérdidas para la instalación eléctrica del edificio es de:

$$Fp = \frac{10222.7}{24 * 75^2} * 100(\%) = 20.4\%$$

El valor de 20.4% para el factor de perdidas del edificio es aceptable ya que indica que el desperdicio de energía es bajo y existe una relativa eficiente utilización del equipo eléctrico.

1.1.2. Tableros

Como tableros eléctricos se conoce un gabinete metálico con un circuito de alimentación mediante barras que contiene los elementos necesarios para la distribución de energía eléctrica a varios circuitos derivados. Esta colocado en un cuarto destinado exclusivamente a la colocación de centros de carga y medición. Su alimentación se realiza directamente del secundario del transformador mediante conductores generalmente son auto soportados y para su operación y mantenimiento requieren de espacio para circulación del personal de mantenimiento por la parte posterior de el.

El diseño original del sistema eléctrico del edificio contemplaba un tablero de distribución principal el cual contiene los interruptores termo magnéticos que alimentan a los tableros de distribución secundarios ubicados uno en cada nivel.

1.1.2.1. Condición actual

En la entrada oeste del primer nivel se localiza el tablero de distribución principal, encargado de alimentar los tableros secundarios, dicho tablero se encuentra alimentado por un sistema trifásico de cuatro conductores tipo AWG THW calibre número 250 MCM desde un banco de transformadores trifásico con capacidad de 75 KVA conectado en delta-estrella, localizado en el edificio S-5, el cual proporciona un voltaje nominal en el secundario de 120/208 v. La potencia instalada en cada uno de los circuitos se determino realizando un inventario de cargas en todos los ambientes del edificio.

El tablero principal se encuentra los tres interruptores que alimentan los tableros secundarios que se encuentran en buen estado. La siguiente tabla muestra la distribución de los circuitos alimentados por el tablero principal.

Tabla II. Tablero principal

No.	Descripción	Voltaje (volts)	Protección (amperios)
Circuito 1	Alimentación Primer nivel	208/120	3 x 100
Circuito 2	Alimentación Segundo nivel	208/120	3 x 100

Junto al tablero principal se encuentra ubicado el tablero secundario del primer nivel; este tablero se encuentra alimentado desde el tablero principal por conductores tipo AWG THW calibre número 2, está compuesto por veinticuatro polos de los cuales diez son circuitos de iluminación, siete de fuerza y el resto están vacíos.

Actualmente presenta un desorden en la colocación de los conductores dentro del tablero; todos los interruptores se encuentran en buen estado. La siguiente tabla muestra una descripción detallada de los circuitos que se derivan de este tablero.

Tabla III. Tablero secundario primer nivel

No.	Descripción	Voltaje (volts)	Potencia instalada (Watts)	Protección (amperios)
Circuitos de iluminación				
Circuito 1A	Artes graficas y tesorería	120	1440	1X20
Circuito 1B	Control Académico	120	1440	1 x 20
Circuito 1C	Atención estudiantil	120	1260	1 x 20
Circuito 1D	Salón 109	120	1800	1 x 20
Circuito 1E	Salón mayor	120	1440	1 x 15
Circuito 1F	Oficinas	120	940	1 x 20
Circuito 1G	Circuito 1, corredor interno	120	1320	1 x 20
Circuito 1H	Circuito 2, corredor interno	120	1320	1 x 20
Circuito 1I	Circuito 1, corredor externo	120	1800	1 x 20
Circuito 1J	Circuito 2, corredor externo	120	1650	1 x 15
Circuitos de fuerza				
	Descripción	Voltaje (volts)	Potencia instalada (VA)	Protección (amperios)
Circuito 1K	Artes graficas y tesorería	120	1360	1 x 20
Circuito 1L	Control Académico	120	1400	1 x 20
Circuito 1M	Atención estudiantil	120	1420	1 x 15
Circuito 1N	Salón mayor	120	1650	1 x 20
Circuito 1O	Oficinas	120	1500	1 x 15
Circuito 1P	Fuerza cafetería	120	1460	1 x 15
Circuito 1Q	Caseta de fotocopias	120	1500	1 x 20

Junto a las gradas del segundo nivel en el lado oeste del edificio se encuentra ubicado el tablero secundario del segundo nivel, del cual se derivan los circuitos que alimentan los sistemas de iluminación interior y fuerza del segundo nivel.

Este tablero se encuentra alimentado desde el tablero principal por conductores tipo AWG THW calibre No. 2, está compuesto por veinticuatro polos de los cuales diez son circuitos de iluminación, siete de fuerza y el resto están vacíos, este tablero es el que se encuentra en mejores condiciones, ya que no ha sido alterado, también sus interruptores se encuentran en buen estado. La siguiente tabla muestra una descripción detallada de los circuitos que se derivan de este tablero.

Tabla IV. Tablero secundario segundo nivel

No.	Descripción	Voltaje (volts)	Potencia instalada (watts)	Protección (amperios)
Circuito De iluminación				
Circuito 2A	Salón 206	120	1380	1 x 15
Circuito 2B	Oficinas y salones 209, 207	120	1160	1 x 15
Circuito 2C	Unidad de planificación	120	1330	1 x 20
Circuito 2D	Almacén y salón 202	120	960	1 x 20
Circuito 2E	Salón 201	120	460	1 x 15
Circuito 2F	Oficina decano	120	1280	1 x 15
Circuito 2G	oficinas	120	1440	1 x 20
Circuito 2H	oficinas	120	1240	1 x 20
Circuito 2I	Corredor interior	120	1320	1 x 20
Circuito 2J	Corredor exterior	120	1320	1 x 15
Circuitos de fuerza				
	Descripción	Voltaje (volts)	Potencia instalada (VA)	Protección (amperios)
Circuito 2K	Oficinas y salones 209, 207	120	1400	1 x 20
Circuito 2L	Unidad de planificación	120	1600	1 x 20
Circuito 2M	Almacén y salón 202	120	1500	1 x 15
Circuito 2N	Salón 201	120	1200	1 x 20
Circuito 2O	Oficina decano	120	1300	1 x 15
Circuito 2P	oficinas	120	1600	1 x 20
Circuito 2Q	oficinas	120	1500	1 x 20

1.1.3. Estado actual y dimensionamiento de conductores

Para poder determinar el estado actual y dimensionamiento de los conductores, se realizó una inspección visual y pruebas de resistencia de aislamiento las cuales se consideran de carácter no destructivo.

1.1.3.1. Resistencia de aislamiento

La forma de verificar el estado del aislamiento de los conductores, es realizar una prueba de resistencia de aislamiento, la cual pretende determinar la capacidad del aislamiento de oponerse a una corriente de conducción o fuga de corriente cuando se aplica un voltaje entre las partes vivas y las partes metálicas conectadas a tierra. La prueba se realizó utilizando un megger y empleando como base el procedimiento de medición planteado por el autor Neagu Bratu en su libro de Instalaciones Eléctricas, el cual consistió en lo siguiente:

- primero, se desconectó el interruptor principal del tablero que contiene los circuitos bajo prueba;
- luego se colocaron todos los interruptores termo magnéticos del tablero y todos los apagadores de los circuitos derivados en posición encendido (ON);
- finalmente, se verificó que todos los tomacorrientes estuvieran libres.

Luego de cumplir con los pasos anteriores se procedió a realizar la medición de aislamiento, la cual se realizó entre los conductores vivos de la instalación y las partes metálicas y conductores neutrales de la misma.

Utilizando la escala más grande de las dos posibles (medición en Megaohms) cuyos últimos dos indicadores eran 500 MΩ y el valor infinito (∞); los resultados obtenidos de la medición en diferentes circuitos en los tres niveles del edificio fueron siempre superiores a los 500 MΩ; estos resultados indican que el aislamiento de los conductores se encuentran en buen estado dado que aun conservan sus propiedades aislantes.

Lo anterior se fundamenta de acuerdo a los valores mínimos establecidos por la norma NTIE (1981) la cual establece valores mínimos de resistencia de aislamientos recomendados para instalaciones eléctricas, los cuales se muestran en la siguiente tabla, y que en el caso del edificio correspondería a un valor de resistencia de aislamiento de 1 MΩ, dado que la mayoría de conductores utilizados en la instalación son calibre No. 12.

Tabla V. Valores de resistencia de aislamiento

Instalación	Resistencia de Aislamiento (ohms)
Para circuitos con conductores No. 14 o No. 12 AWG	1,000,000
Para circuitos con conductores No. 10 o mayores y con capacidad de conducción de corriente de:	
25 a 50 A	250,000
51 a 100 A	100,000
101 a 200 A	50,000
201 a 400 A	25,000
401 a 800 A	12,000
mas de 800 A	5,000

Fuente: Neagu Bratu. **Instalaciones Eléctricas**. Pág. 198

1.1.3.2. Capacidad, calibre y secciones de conductores eléctricos

Para determinar el área de la sección transversal del conductor y su capacidad de conducción de corriente se utilizaron las tablas A-1 y A-2 del anexo A, las cuales muestran el área de la sección transversal en circular mil (CM) y en milímetros cuadrados, además de la capacidad de conducción para dos tipos de material aislante con un rango de temperatura determinado.

Los circuitos que se derivan del tablero de distribución principal son tipo THW AWG calibre número 2, con una sección transversal de 33.6 milímetros cuadrados y una capacidad de conducción de 115 amperios a 75 °C. Las características de los conductores utilizados en los diferentes circuitos en los tableros secundarios del edificio se muestran en la siguiente tabla; todos los conductores son tipo TW AWG y la capacidad de conducción indicada esta dada para una temperatura de operación de 60 °C.

Tabla VI. Características de los conductores en tableros secundarios

No. Circuito	Conductor TW	Área (mm ²)	Capacidad de conducción (amperios)
Tablero Secundario primer nivel			
1A,1B,1D,1E,1F,1G,1H,1I,1J,1K,1M,1N,1O,1P	10	5,3	30
1C,1L,1Q	12	3,3	20
Tablero Secundario segundo nivel			
2A, 2B, 2C, 2E, 2F, 2H, 2I, 2J, 2K, 2L, 2M, 2O, 2P,	10	5,3	30
2D,2G,2N	12	3,3	20

1.1.4. Tuberías

El sistema de canalizaciones eléctricas en el edificio es bastante variado y se ajusta a los requerimientos de espacio necesarios de acuerdo con la cantidad de conductores que pasan por él. La conexión entre el tablero de distribución principal y los tableros de distribución secundarios del primero y segundo nivel se hace con tubería conduit negro de dos pulgadas de diámetro empotrada en el muro, por lo que no presentan problemas de corrosión y además posee alta resistencia mecánica.

La tubería sobrepuesta en cielo y empotrada en losa para los circuitos de iluminación es de tipo ducton de media pulgada de diámetro cuando por ella pasan no más de tres conductores y de $\frac{3}{4}$ pulgada si pasan cuatro o más conductores; este tipo de tubería posee una pared de aproximadamente la mitad del grosor de la pared de un tubo conduit negro, por lo que su resistencia mecánica es menor.

Las canalizaciones a los diferentes salones, oficinas y demás servicios, parten de un distribuidor general que consiste en una canaleta cuadrada de cuatro pulgadas de lado la cual parte del tablero de distribución secundario y recorre el nivel formando un anillo sobre el pasillo del mismo. Este tipo de canalización consiste en canales de lámina pintada de gris o bien lámina galvanizada, de sección cuadrada o rectangular con tapadera atornillada. La ventaja de este tipo de canalización sobre la tubería convencional es la facilidad de alambrado y una mayor eficiencia de conducción de conductores ya que posee una mejor disipación de calor.

La canalización de los circuitos de fuerza se lleva a cabo mediante tubería ducton empotrada en piso, de media pulgada si conducen uno o dos circuitos y de $\frac{3}{4}$ pulgada si conducen dos o más circuitos. La distribución a los diferentes tableros auxiliares se hace con tubo pvc eléctrico o poliducto; los cuales presentan la ventaja de ser más económicos que los tubos metálicos, el tubo pvc es estéticamente aceptable cuando se utiliza sobrepuesto como en este caso, ambos tipos de tubo tienen la desventaja de ser malos conductores del calor y pueden funcionar como un aislamiento térmico, lo cual impide que el calor producido por los conductores sea transmitido al ambiente reduciendo considerablemente la capacidad de conducción de corriente de los mismos.

1.1.5. Protecciones

El único tipo de protección con que cuenta la instalación eléctrica del edificio son los interruptores termo magnéticos instalados en los diferentes tableros que conforman la instalación, estos interruptores están diseñados para abrir el circuito en forma automática cuando ocurre una sobrecarga. Los interruptores en los tableros secundarios están respaldados por un interruptor principal ubicado en el tablero de distribución principal, existiendo uno para cada tablero secundario. Los interruptores utilizados en los diferentes tableros se describieron anteriormente en la sección de tableros del presente capítulo.

1.1.5.1. Prueba de disparo

Las pruebas se realizaron al azar en algunos de los interruptores termo magnéticos instalados en los diferentes tableros con el objetivo de verificar el funcionamiento de los mismos bajo condiciones de falla.

En primer lugar se verificò la respuesta del interruptor bajo la presencia de un cortocircuito, esta prueba fue realizada únicamente en circuitos de fuerza que se encuentran fuera de servicio y el corto circuito se provocó poniendo en contacto los extremos de los conductores vivo y neutro del circuito a través de un fusible con capacidad de corto circuito mayor al del interruptor para protección de la instalación en caso de que este último no funcionara correctamente. La segunda prueba realizada fue para verificar la respuesta de los interruptores ante la presencia de una sobrecarga, para ellos se colocó a los circuitos bajo prueba una carga que demandara una corriente superior a la nominal del interruptor.

En ambas pruebas realizadas los interruptores respondieron en forma satisfactoria, verificando de esta manera que los éstos se encuentran en buen estado pues aun conservan sus propiedades de operación.

1.2. Análisis de redes

Para determinar la calidad de energía con la que cuenta el edificio S-7 se realizó un análisis de los principales factores eléctricos que intervienen en este aspecto. Para realizar dicho análisis se utilizó un equipo de medición de calidad de energía proporcionado por la división de servicios generales de la USAC quien además proporcionó asesoría para su correcta utilización, el equipo de medición estuvo conectado durante 24 horas continuas a la red eléctrica interna del edificio proporcionando las gráficas que se muestran en los siguientes apartados.

1.2.1. Corrientes

La circulación de corriente en las líneas se incrementa entre las quince horas y las veintiuna horas como se observa en la figura 3; esto se debe a que es durante este período que se utiliza el 100% de la iluminación y entran en funcionamiento todas las oficinas del tercer nivel.

En la figura 3, se observa como las cargas se van conectando aumentando el consumo de corriente, llegando a un máximo de 225 amperios esto ocurre a las 19:00 horas.

En la gráfica 4, se observa que antes de las 12:00 horas no hay cargas conectadas a la fase dos luego de las 13:00 horas en adelante las cargas se van conectando hasta llegar a consumir 125 amperios.

Las siguientes figuras muestran el comportamiento de la circulación de corriente en las líneas vivas y neutral durante el período de medición.

Figura 3. Gráfico corriente en línea uno contra tiempo

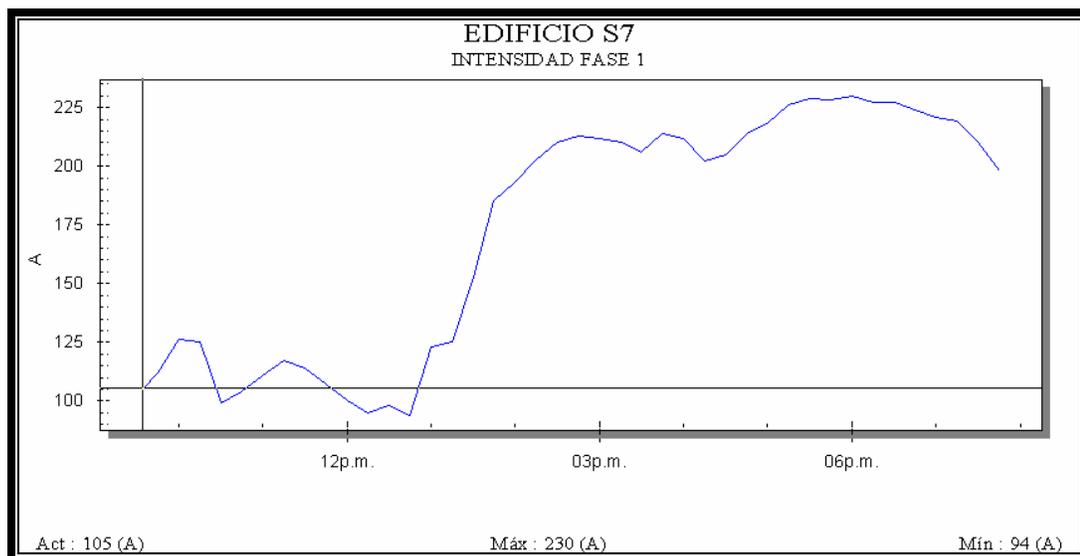


Figura 4. Gráfico corriente en línea dos contra tiempo

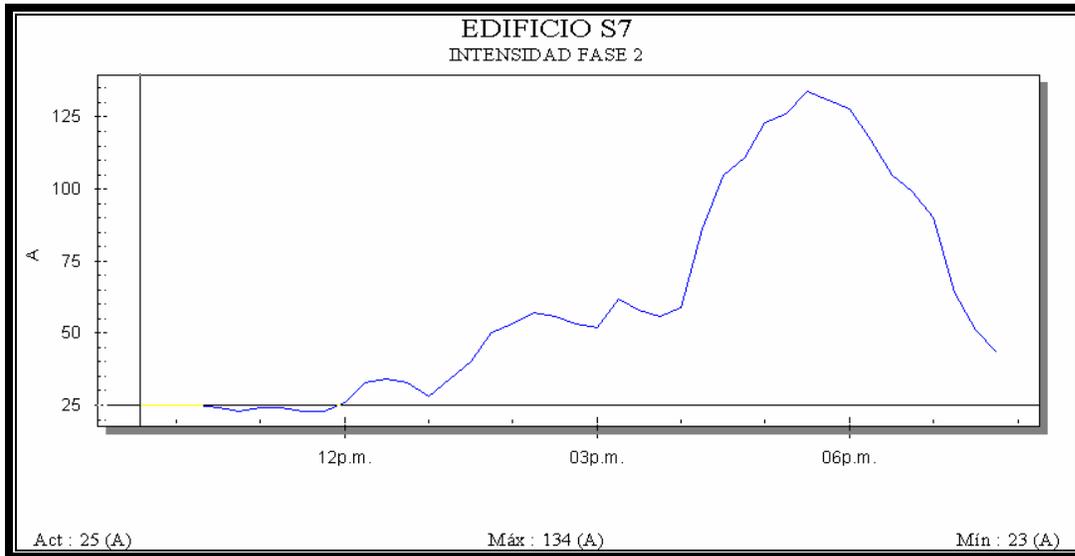
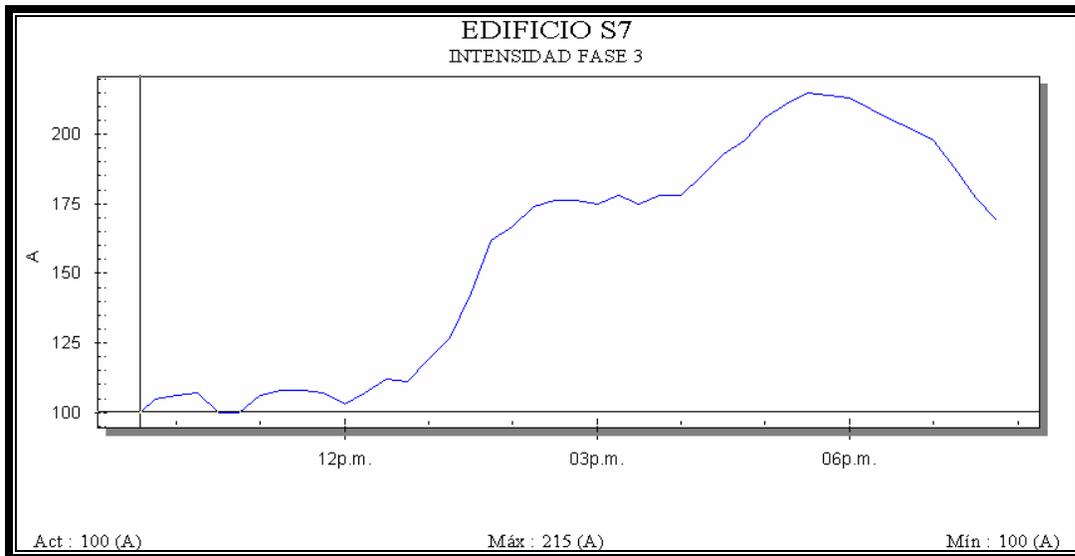


Figura 5. Gráfico corriente en línea tres contra tiempo



Como puede observarse en las figuras anteriores, el flujo de corriente en las líneas uno y tres es bastante simétrico, la corriente que circula por la línea dos es nula o insignificante durante la noche y parte de la madrugada, por lo que es durante este período que existe un desbalance de carga en las líneas, esto se debe a que aunque la carga está igualmente distribuida entre las tres líneas, los horarios en que estas están en funcionamiento no son coincidentes. La circulación de corriente a través de la línea neutral se debe a que casi el 100% de la carga instalada es monofásica y como puede observarse su comportamiento es similar a la que circula por las líneas vivas

La corriente máxima que circula a través de cada una de ellas es aproximadamente la misma y ocurre relativamente a la misma hora (dentro de un intervalo de treinta minutos), de igual forma, la corriente promedio que circula a través de las tres líneas es bastante parecida, esto muestra que el desbalance aparente en las líneas ocurre porque el horario de operación de las diferentes cargas no está distribuido equitativamente. Un resumen de estos valores se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VII. Corrientes máxima y promedio a través de las líneas

Línea	Corriente máxima (Amperios)	Hora
Línea 1	225	06:00 p.m.
Línea 2	125	05:55 p.m.
Línea 3	210	05:50 p.m.

1.2.2. Voltajes

El nivel de voltaje tiene un comportamiento similar en las tres líneas a lo largo del tiempo, como se muestra en las siguientes figuras, se puede observar que el nivel de voltaje permanece siempre superior al valor nominal de 120 voltios, la línea uno presenta un rango de variación de 119 a 123 voltios.

En la línea dos el rango de variación es de 122 a 126 voltios, la línea tres es la que presenta la mayor variación del nivel de voltaje respecto del valor nominal, encontrándose su rango de variación entre 122 a 125 voltios, al igual que en el caso de la corriente estos valores evidencian una mala distribución de la carga en las líneas a lo largo del día.

Figura 6. Voltaje en línea uno contra tiempo

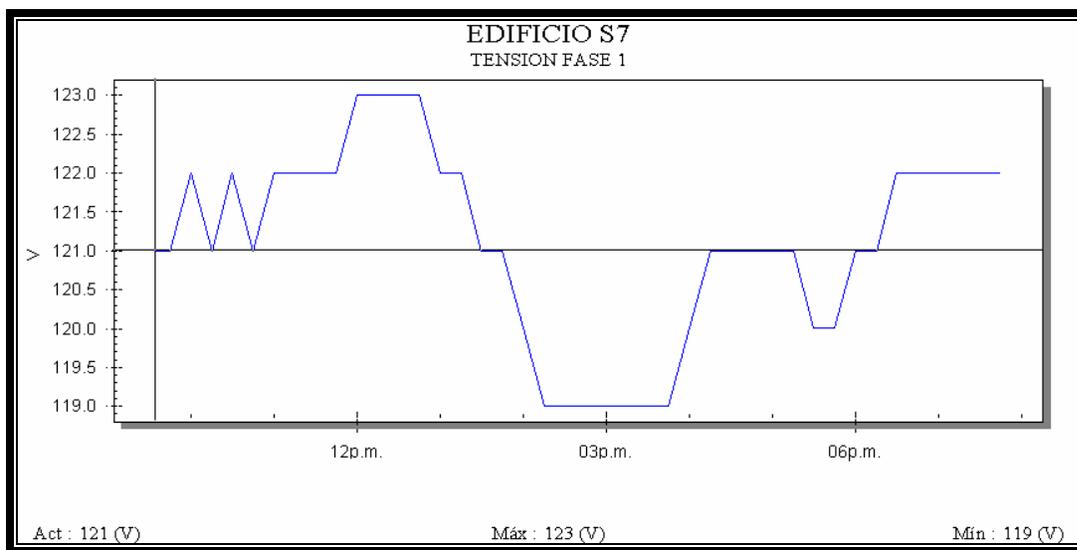


Figura 7. Voltaje en línea dos contra tiempo

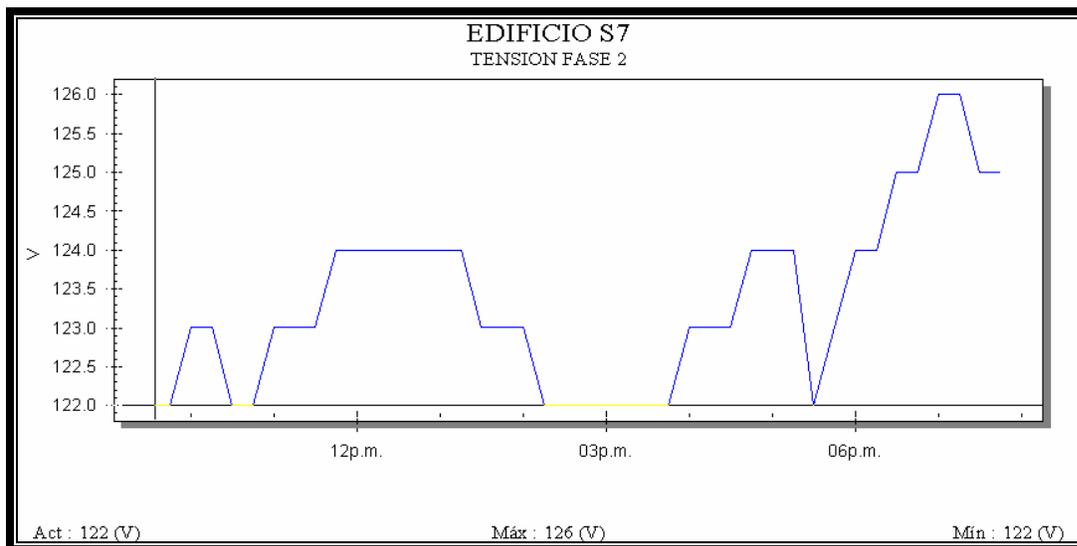
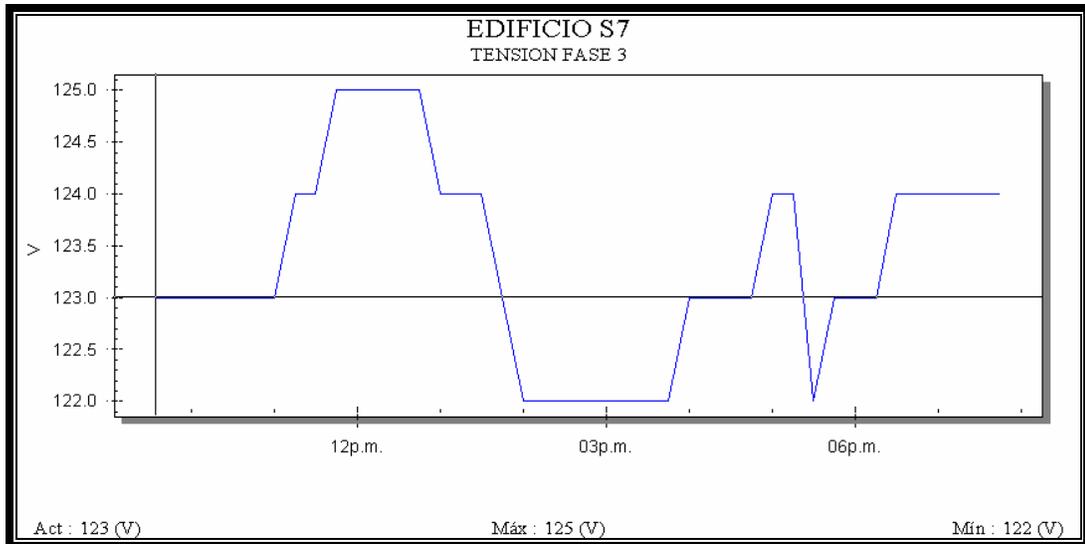


Figura 8. Voltaje en línea tres contra tiempo



Para determinar la calidad de la energía con que se cuenta, se recurre a cálculo del índice de calidad de regulación de tensión (IRT) establecido en las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD), cuyo procedimiento es el siguiente:

$$IRT(\%) = \frac{|V_k - V_n|}{V_n} * 100 \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

V_k: nivel de tensión en un intervalo de medición k

V_n: nivel de tensión nominal

Las NTSD establecen en su cuadro de tolerancia admisible respecto del valor nominal (ver tabla A-3 en anexo A) tres valores de tolerancia admisibles dependiendo de la etapa en la que se encuentre; dichos valores para un servicio urbano en baja tensión son de 12%, 10% y 8% para las etapas de transición, régimen del mes uno al doce y régimen del mes trece en adelante respectivamente.

Dada las condiciones bajo las cuales se realizaron las mediciones en el edificio, este puede ubicarse en este momento en una etapa de transición por lo que el índice de tolerancia admisible es del 12% y como puede observarse en la tabla A-3 del anexo A, en ningún momento es sobrepasado este rango de tolerancia permitido.

1.2.3. Factor de potencia

La empresa eléctrica de Guatemala, establece en sus normas para acometidas de servicio eléctrico XII edición que en ningún caso el factor de potencia del usuario debe ser menor al 85% ($F_p=0.85$); los resultados obtenidos de la medición muestran que durante los períodos en los cuales más del 80% de la carga instalada esta operando, el factor de potencia en las fases permanece dentro del rango establecido por la norma.

Durante los períodos de bajo consumo de energía se produce un desbalance de carga en las líneas lo que provoca que el factor de potencia individual de las líneas caiga por debajo del límite permitido; durante los períodos en los cuales el flujo de corriente en las fases tiende a cero, no son tomados en cuenta por el equipo de medición y se obtiene un factor de potencia de cero, por lo tanto estos valores no son tomados en cuenta para la graficación del factor de potencia de las diferentes fases.

El factor de potencia de la línea uno es bastante estable alrededor de 0.96 para un período prolongado de tiempo, luego cae durante los períodos de bajo consumo para permanecer estable alrededor de 0.94.

El factor de potencia de la línea dos es más variable que el de la línea uno aunque siempre permanece dentro del rango establecido por la norma.

En el caso del factor de potencia de la línea tres, este permanece estable alrededor de 0.96 durante la tarde, sin embargo durante el período de máximo consumo de energía (entre las 17:00 y las 20:00 hrs.) el factor de potencia cae alrededor del 0.92 (promedio), luego durante el resto de la noche y parte de la madrugada, el factor de potencia medido está alrededor de 0.95, como se dijo antes esto evidencia un desbalance de carga en las líneas durante este período; el comportamiento del factor de potencia de las diferentes fases durante el período de medición se muestra en las siguientes figuras.

Figura 9. Factor de potencia de L1

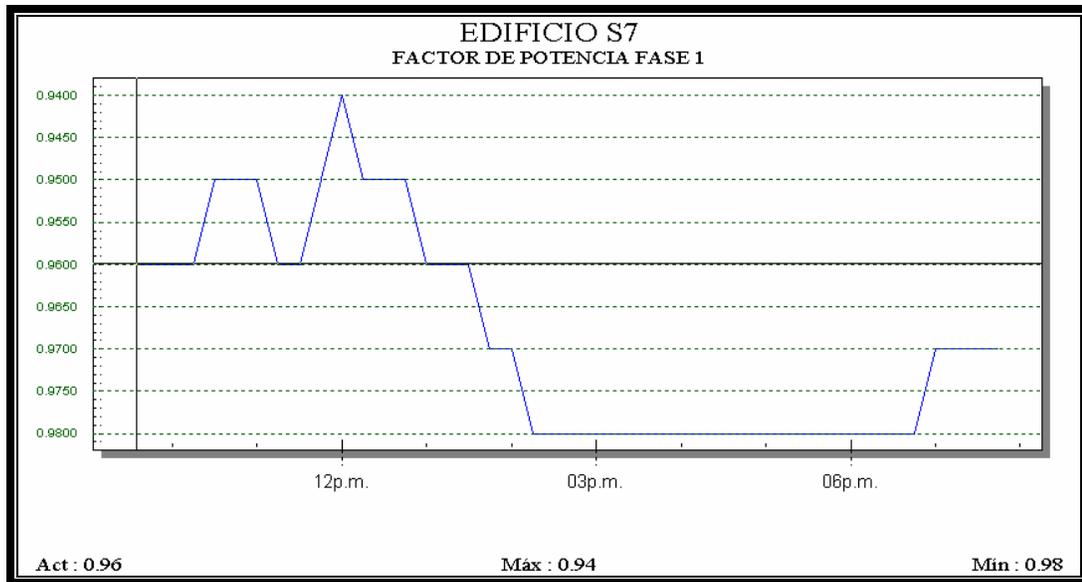


Figura 10. Factor de potencia de L2

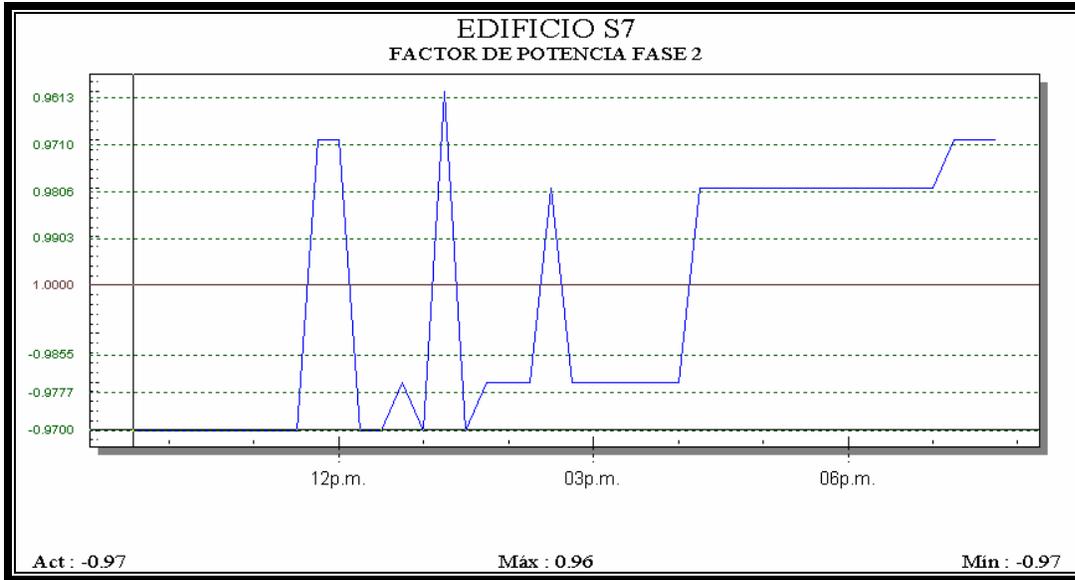
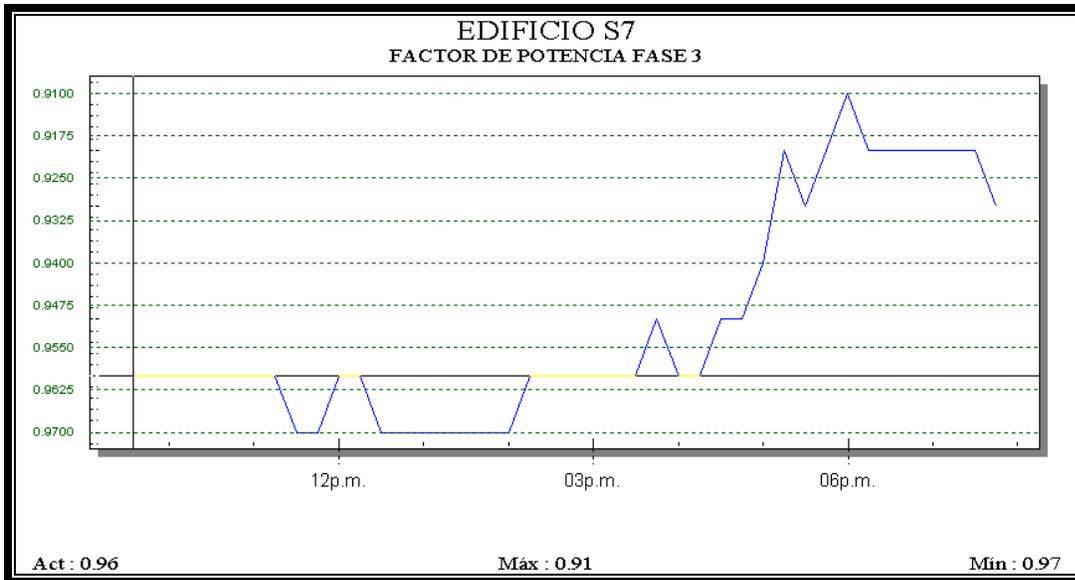


Figura 11. Factor de potencia de L3



Un promedio de los valores de los factores de potencia medidos de cada una de las fases, muestra que la línea uno tiene un valor promedio de 0.96, la línea dos un promedio de 0.97 y la línea tres un valor promedio de 0.95.

Tomando en cuenta únicamente valores significativos y eliminando aquellos que por las razones antes mencionadas arrojan un valor de factor de potencia igual o cercano a cero. Estos valores demuestran que efectivamente existe un desbalance de carga en la línea tres respecto de las líneas; el desbalance se hace más notorio durante los períodos de bajo consumo de energía.

1.2.4. Potencias

Se obtuvieron durante la medición los valores de las potencias activa, reactiva y aparente para cada una de las fases de manera individual y en conjunto, lo que permite ver el comportamiento de la carga a lo largo del periodo de medición.

1.2.4.1. Potencia activa

El comportamiento del consumo de potencia activa (P) durante el día es bastante similar, en las tres líneas la potencia activa crece y decrece durante los mismos períodos de tiempo, aunque con valores diferentes. El consumo de potencia activa en la línea uno se incrementa paulatinamente de las 07:00 hrs. hasta las 19:30 hrs. aproximadamente, hasta un valor de 27.5 KW, durante el resto de la noche y la madrugada el consumo de potencia en esta línea permanece alrededor de 12.5 KW; el consumo de potencia activa en la línea dos difiere del de la línea uno en que el valor máximo es de 15.0 KW aproximadamente, además durante el período comprendido entre las 21:00 hrs. y las 7:00 hrs. el consumo es aproximadamente de 3 KW con pequeños picos a lo largo del período.

En la línea tres el valor máximo de consumo de 32.5 KW aproximadamente y un consumo de aproximadamente 1.5 KW durante la noche y madrugada. El comportamiento del consumo de potencia activa durante el período de medición se muestra en las siguientes figuras.

Figura 12. Potencia activa línea uno

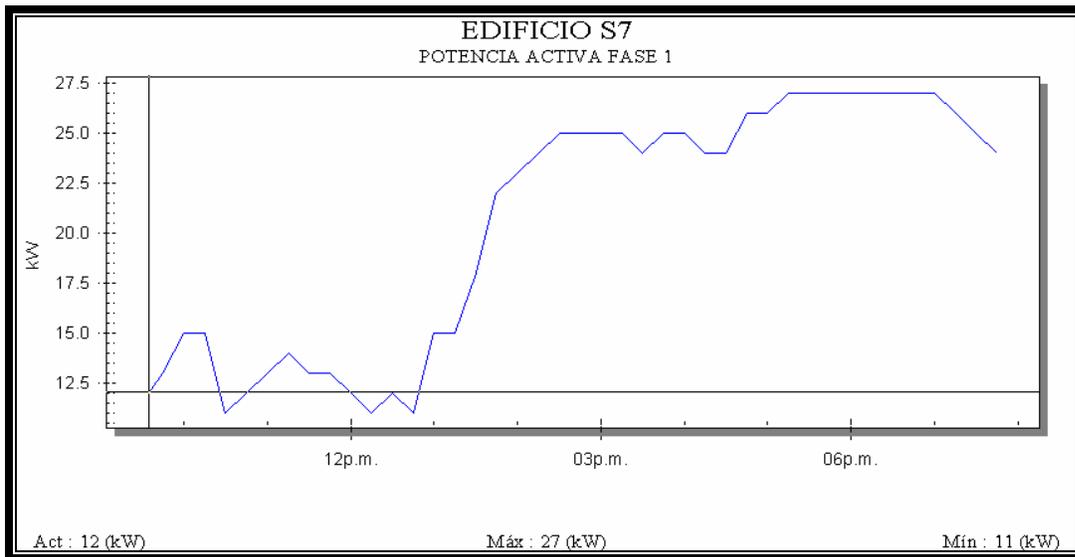


Figura 13. Potencia activa línea dos

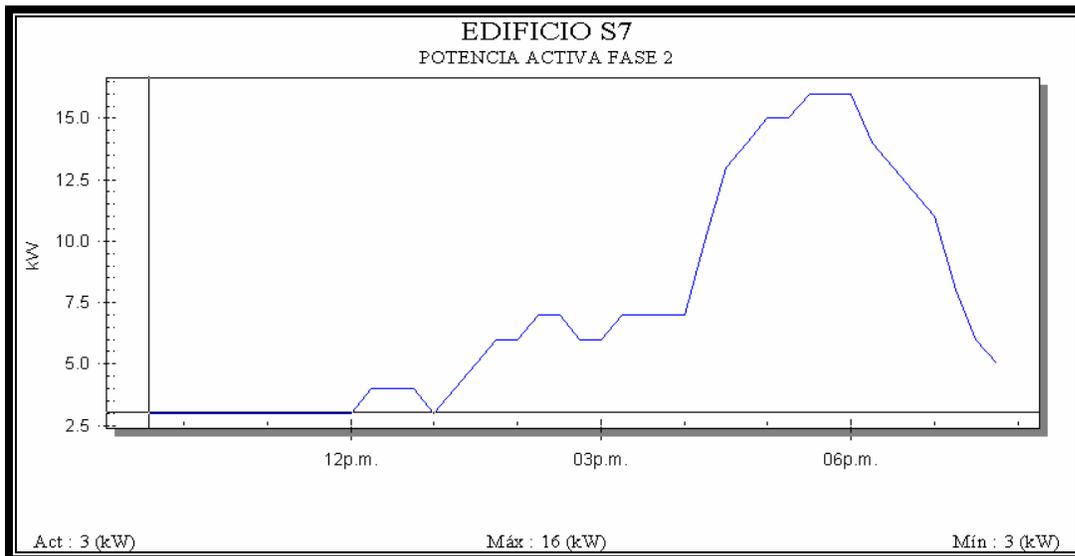
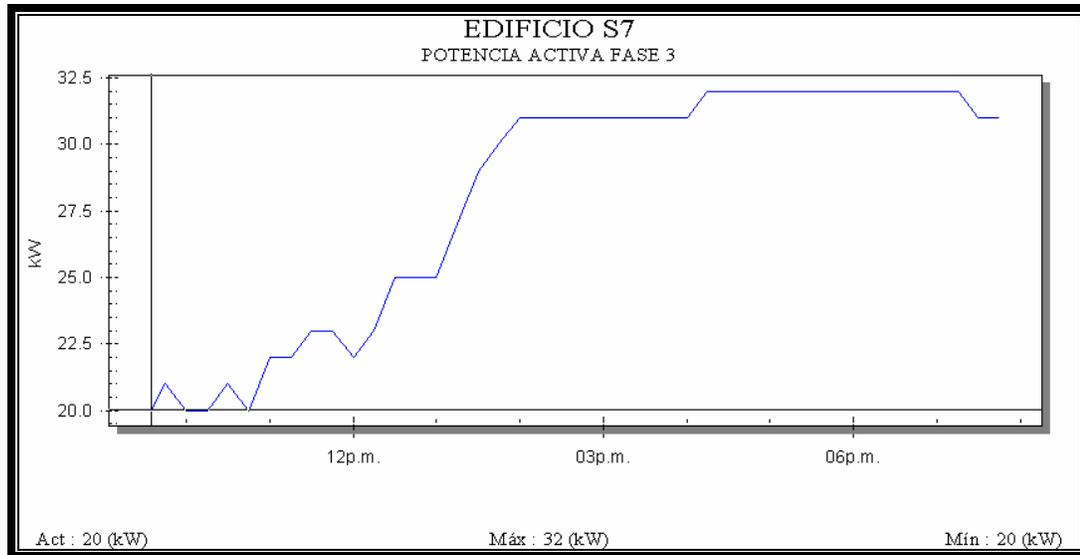


Figura 14. Potencia activa línea tres



1.2.4.2. Potencia reactiva

El consumo de potencia reactiva es diferente en las tres líneas, lo cual indica que la carga conectada a cada una de ellas posee características muy diferentes en cuanto a la potencia reactiva que consumen, en la línea uno el consumo de reactiva se incrementa entre las 9:00 hrs. y las 19:30 hrs. hasta un valor máximo de 5 KVAR, durante el resto de la noche y hasta las 7:00 hrs. aproximadamente el consumo de reactiva esta alrededor de 1 KVAR, durante la mañana el consumo de reactiva es oscilante, obteniéndose en algunos casos valores negativos; en la línea dos, el consumo de reactiva se incrementa constantemente entre las 16:00 y las 20:30 hasta un valor máximo de 1 KVAR aproximadamente, durante el resto del período el consumo de reactiva tiende a cero; en la línea tres, el consumo de potencia reactiva es similar al consumo de potencia activa de la misma línea, con un incremento gradual entre las 12:00 hrs. y las 20:00 hrs. hasta un valor máximo de 10 KVAR aproximadamente.

El comportamiento del consumo de potencia reactiva durante el período de medición se muestra en las siguientes figuras.

Figura 15. Potencia reactiva línea uno

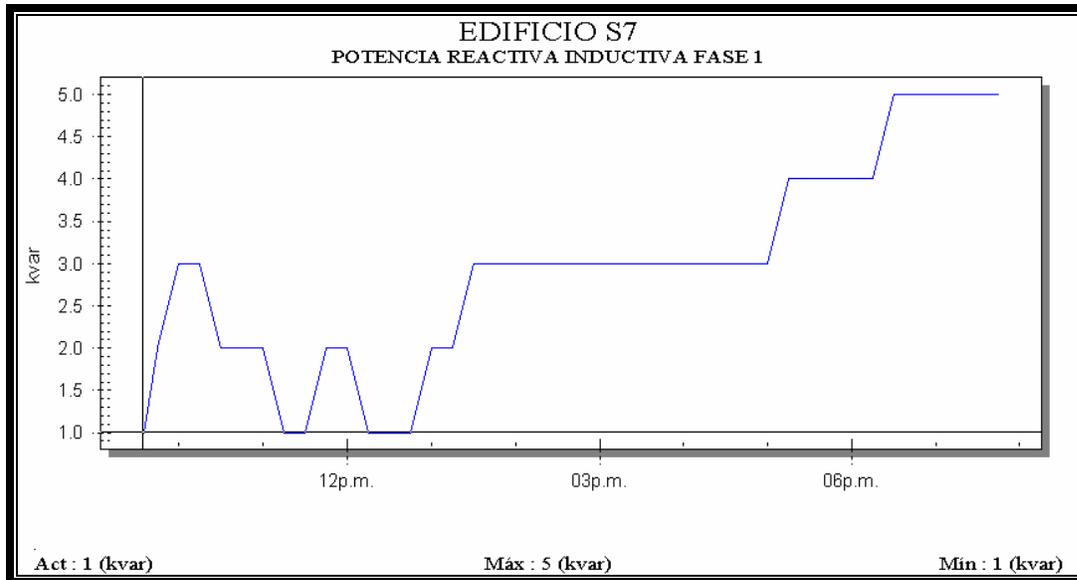


Figura 16. Potencia reactiva línea dos

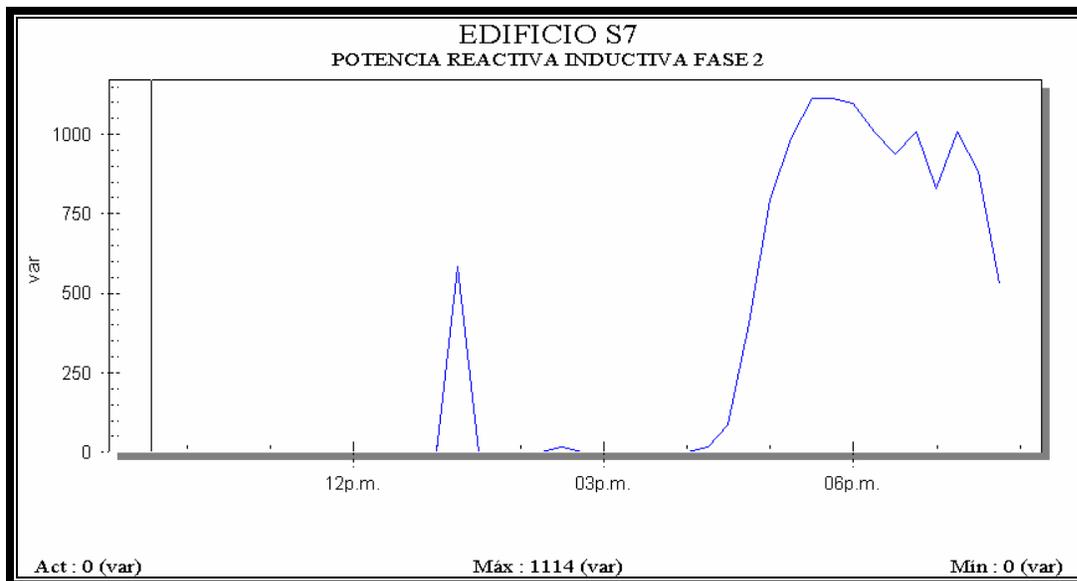
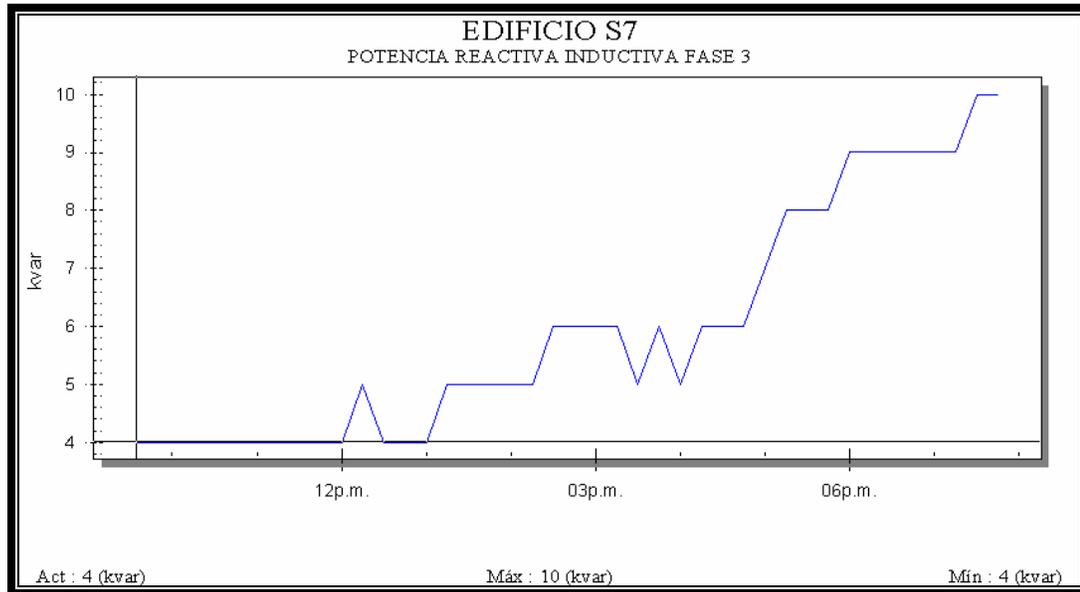


Figura 17. Potencia reactiva línea tres



1.2.4.3. Potencia aparente

La potencia aparente constituye la suma vectorial de las potencias activa y reactiva, su importancia radica en que es esta potencia la que normalmente se utiliza para calcular la corriente nominal y de cortocircuito que circulara por los conductores, con el fin de dimensionarlos correctamente.

1.2.5. Análisis de armónicos

Los armónicos pueden ocasionar una perturbación inaceptable sobre la red de distribución de energía eléctrica.

En consecuencia causa el recalentamiento de motores, cables y transformadores, el disparo de los interruptores automáticos, el sobrecalentamiento (y posible explosión) de capacitores, y también el mal funcionamiento de distintos equipos como computadoras, sistemas de comunicaciones, protección y sistemas de medición, además, los componentes armónicos de frecuencias altas dan lugar a mayores pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas en los circuitos magnéticos.

1.2.5.1. Distorsión armónica THDV

Para caracterizar la presencia de las armónicas en una onda dada, la comisión nacional de energía eléctrica establece en sus normas técnicas del servicio de distribución (NTSD), el índice de calidad de la distorsión armónica de la tensión (DATT), el cual está expresado como un porcentaje y calculado mediante la siguiente ecuación:

$$DATT(\%) = \left(\sqrt{\frac{\sum V_i^2}{V_1^2}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

DATT = Distorsión armónica total de tensión en porcentaje

V_i = Componente de tensión de la armónica de orden i

V_1 = componente de tensión de la frecuencia fundamental (60Hz)

Las NTSD establecen como máximo permisible, una tolerancia del 8% para la distorsión armónica total de tensión, además considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5% del correspondiente período de medición.

El Artículo 34 de las NTSD establece que los distribuidores deberán indemnizar a sus usuarios por aquellos servicios en los que se compruebe que las condiciones distorsión armónica han excedido las tolerancias establecidas por la norma y se mantendrá hasta que se compruebe, en forma fehaciente, que el problema ha sido resuelto. La indemnización esta basada en función de las desviaciones por encima de las tolerancias establecidas para los índices o indicadores DAIT y DATT, y la energía suministrada en esas condiciones.

Se define como (DPAk) a la distorsión armónica encontrada en cada intervalo de medición k, por encima de las tolerancias establecidas por la norma, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$DPAk = Max \left[0, \frac{DATT_{(k)} - DATT}{DATT} \right] + \frac{1}{3} \sum_2^{40} Max \left[0, \frac{DAIT_{i(k)} - DAIT_i}{DAIT_i} \right] \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

DPAk: es la distorsión penalizable de armónicas para cada intervalo k

DATT_(k): es la distorsión armónica total de tensión, registrada en el intervalo k

DATT: es la tolerancia para la distorsión armónica total de tensión

DAIT_(k): es la distorsión armónica individual de tensión i, registrada en el intervalo de medición k

DAIT_i: es la tolerancia para la distorsión armónica individual de tensión i

En cada intervalo de medición (k) registrado con energía suministrada en malas condiciones de calidad (intervalos con DPA mayor que cero), se utilizará el siguiente criterio para la valorización de la energía suministrada en condiciones inadecuadas (A/KWh) para el cálculo de la indemnización:

$$\begin{array}{lll}
 0 < DPA_k \leq 1 & CENS * (DPA_k)^2 & Q/KWh \\
 1 \leq DPA_k & CENS & Q/KWh
 \end{array}$$

El monto de la indemnización se determina como:

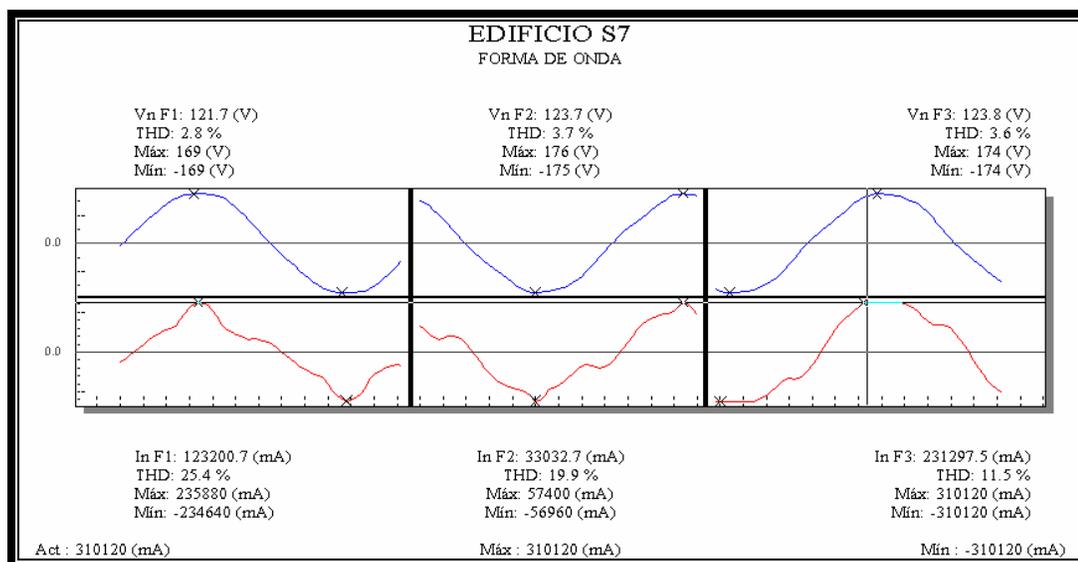
$$\text{Indemnización}(Q) = \sum_{k:DPA_k \leq 1} CENS * (DPA_k)^2 * E(K) + \sum_{k:DPA_k > 1} CENS * E(K) \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

E(k): es la energía registrada en cada intervalo de medición k.

En los casos en que los distribuidores verifiquen que alguno de sus usuarios ha excedido las tolerancias establecidas por la norma para la distorsión armónica, el usuario deberá pagar al distribuidor una indemnización determinada en función a la distorsión penalizable individual de armónicas. La forma de onda tanto de a corriente como del voltaje se puede observar en la siguiente grafica.

Figura 18. Forma de onda del edificio S7



1.2.6. Desbalance

El desbalance de voltaje es otro factor importante a considerar en el análisis de la red eléctrica, ya que permite identificar una mala distribución de la carga y la calidad de la energía eléctrica con la que se cuenta. Las NTSD establecen un índice de calidad del desbalance de la tensión, utilizado para evaluar el desbalance de tensión en servicios trifásicos, el cual se determina sobre la base de comparación de los valores eficaces (RMS) de tensión de cada fase; este índice está expresado como un porcentaje y se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta DTD(\%) = \left(\frac{3(V_{\max} - V_{\min})}{(V_a + V_b + V_c)} \right) * 100 \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

Δ DTD(%): Porcentaje de desbalance de tensión

Vmax: Tensión máxima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo K

Vmin: Tensión mínima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo k

Va: Tensión de la fase a, registrada en el intervalo de medición k

Vb: Tensión de la fase b, registrada en el intervalo de medición k

Vc: Tensión de la fase c, registrada en el intervalo de medición k

La tolerancia admitida por las NTSD aplicables al distribuidor sobre el desbalance de tensión en los puntos de entrega de energía es del 3%, (ver tabla A-5 en anexo A) y considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al 5% del correspondiente al total del período de medición, se ha excedido el rango de tolerancia admitido.

Tabla VIII. Desbalance de tensión en porcentaje

Tensión	Desbalance de tensión, Δ DTD, en %
	Etapa de régimen, a partir del mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Normas Técnicas del servicio de distribución

En la tabla A-3 del anexo A, puede observarse que para el 100% de las mediciones realizadas, el rango de tolerancia para el desbalance de tensión establecido por las NTSD ha sido excedido.

En promedio el valor del índice de tolerancia obtenido es de 4.66%, que representa un exceso sobre la norma de 1.66%.

Aunque el valor medido de los índices de tolerancia, exceden el rango establecido por las normas, debe considerarse que los rangos establecidos por dicha norma, son aplicables para la etapa de régimen, a partir del mes 13, mientras que como se determino en apartados anteriores, en este momento el edificio se ubica en una etapa de transición, por lo que el índice puede considerarse aceptable en este momento.

1.3. Red de tierras

En toda instalación eléctrica debe existir una adecuada conexión a tierra, que permita brindar protección a las personas y equipos que entren en contacto con dicha instalación; esta conexión puede realizarse a través de una toma de tierra que consiste en un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor o bien mediante un sistema de tierras, que consiste en una red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provistos de una o varias terminales a las que pueden conectarse puntos de la instalación. La empresa eléctrica de Guatemala, en sus normas para acometidas de servicio eléctrico, establece que para instalaciones residenciales con consumos mayores de 30 amperios, el neutro de la instalación debe estar conectado sólidamente a tierra, esta norma es aplicable también a edificios y centros comerciales. La norma especifica que el conductor de tierra no será menor que el calibre No. 8 AWG cobre; y los electrodos de tierra podrán ser varillas de cobre con una longitud mínima de 2.5 metros y 5/8" de diámetro o bien varillas de acero galvanizado de 6 pies de largo y diámetro de 5/8".

1.3.1. Condición actual

Actualmente el edificio cuenta con una conexión sólida a tierra mediante varillas de cobre de dimensiones normalizadas por la empresa eléctrica en diferentes puntos de la instalación.

1.3.2. Medición y determinación de su utilidad

Las NTIE (1981) establecen que para que una conexión a tierra sea segura, el valor de la resistencia a tierra no debe ser mayor de 25 ohms en el caso de instalaciones de edificios, menor o igual a 5 ohmios en el caso de subestaciones eléctricas y plantas industriales, y menor o igual a 1 ohmio en el caso de Generadoras y subestaciones Grandes; al realizar la medición de la resistencia de tierra con equipo del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se determino que la resistencia de tierra al rededor del edificio S-7 es de 2.15 ohms, con una resistividad del terreno de 35.02 ohms*metro. Dado que el valor de resistencia de tierra esta muy por debajo del máximo recomendado, no se hace necesaria la instalación de una red de tierras compleja, por lo que son suficientes los electrodos de toma a tierra con los que cuenta actualmente.

1.4. Pararrayos

Los pararrayos se utilizan como protección contra descargas atmosféricas provocadas por la presencia de nubes cargadas positiva o negativamente por efecto de la fricción entre el aire y gotas de agua.

Un sistema de pararrayos consiste en barras o electrodos metálicos puntiagudos colocados en las partes superiores de los objetos a proteger; deben interconectarse entre sí y al sistema de tierras.

1.4.1. Condición actual

Actualmente el edificio S-7 no cuenta con ningún sistema de pararrayos, sin embargo, aunque el área geográfica en la cual se encuentra se considera de bajo nivel isoceraunico (promedio de días con lluvia al año en que se forman tormentas con posibilidad de descargas atmosféricas), la colocación de pararrayos es recomendable para proteger el equipo de oficina y a las personas que puedan estar en contacto con la instalación eléctrica o partes metálicas del edificio.

1.5. Iluminación

La característica principal que debe poseer todo sistema de iluminación artificial es la de ser capaz de producir luz de un modo eficaz, es decir, produciendo una aceptable cantidad de flujo luminoso (lúmenes) por cada vatio consumido. El estado actual del sistema de iluminación interior y exterior del edificio S-7 se determinó realizando las actividades que se detallan a continuación.

1.5.1. Revisión visual

Un recorrido por las instalaciones del edificio S-7 permitió determinar que el sistema de iluminación utilizado para todos los ambientes, es el de iluminación general el cual permite distribuir los puntos de luz de un modo regular sobre toda la superficie del techo para proporcionar una iluminación horizontal con valores próximos al nivel medio preestablecido con un aceptable grado de uniformidad; el estado físico de las luminarias es bueno, con un 90% de las lámparas en funcionamiento.

La distribución del número de luminarias por ambiente está en función de las dimensiones del mismo, de esta manera se tienen salones de clase y oficinas con nueve, doce, quince o dieciséis luminarias; los pasillos interiores cuentan con un circuito de 50 lámparas a lo largo del mismo, todo el sistema de iluminación es sobrepuesto a excepción de las luminarias del pasillo exterior las cuales se encuentran empotradas en losa.

1.5.2. Características de las luminarias

Las luminarias, propician la distribución del flujo luminoso emitido por las lámparas para dirigirlo hacia determinadas direcciones (reflectores) o para atenuar el deslumbramiento, ocultando parcial o totalmente la visión de la lámpara (difusores). Las luminarias instaladas en los ambientes interiores como salones, bibliotecas, servicios sanitarios y la mayoría de las oficinas son luminarias con dos lámparas fluorescentes de 40 watts cada una, sin pantalla difusora, solamente algunas oficinas del primer y segundo nivel del edificio cuentan con luminarias de dos lámparas de 40 watts con pantalla difusora. En los pasillos interiores se utilizan luminarias tipo listón con una lámpara fluorescente de 40 watts por luminaria, también sin difusor. El pasillo exterior está iluminado con luminarias de lámparas fluorescentes de 40 watts cada una.

1.5.4. Medición del nivel de iluminación

Para determinar la condición actual del nivel de iluminación en los diferentes ambientes del edificio, se utilizó un luxómetro con el cual se realizó un muestreo de la nivel de iluminación (luxes) en los mismos, cuyos resultados y características de los ambientes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IX. Nivel de iluminación y características ambiente

Ambiente	Iluminación lux	Colores ambiente			Dimensiones		
		Techo	Piso	Pared	Largo metros	Ancho metros	Altura metros
Primer Nivel							
Artes graficas y tesorería	210	Gris	Gris	Crema	8.80	8.80	3.00
Control Académico	123	Gris	Gris	crema	8.80	5.20	3.00
Atención estudiantil	231	Gris	Gris	Crema	18.00	8.80	3.00
Salón 109	240	Gris	Gris	Crema	14.20	8.80	3.00
Salón mayor	85	Gris	Gris	Crema	9.00	5.20	3.00
Oficinas	50	Blanco	Gris	Gris	4.30	2.50	3.00
Corredor interno	179	Gris	Gris	Crema	36.00	8.80	3.00
Corredor externo	126	Blanco	Gris	Rosado	8.80	5.20	3.00
Gradas oeste a segundo nivel	32	Gris	Gris	Crema	5.30	5.00	3.00
Gradas este a segundo nivel	30	Gris	Gris	Crema	5.00	4.30	3.00
Segundo Nivel							
Salón 206	221	Gris	Gris	Crema	10.70	8.70	3.00
Oficinas y salones 209, 207	257	Gris	Gris	Crema	10.60	10.60	3.00
Unidad de planificación	219	Gris	Gris	Crema	8.80	7.80	3.00
Almacén y salón 202	213	Gris	Gris	Crema	8.80	3.40	3.00
Salón 201	86	Gris	Gris	Crema	18.00	2.50	3.00
Oficina decano	86	Gris	Gris	Crema	27.00	2.50	3.00
oficinas	184	Gris	Gris	Crema	2.50	2.50	3.00
oficinas	50	Blanco	Gris	Gris	4.30	3.30	3.00
Corredor interior	35	Gris	Gris	Crema	5.30	5.00	3.00
Corredor exterior	33	Gris	Gris	Crema	5.00	4.30	3.00

1.6. Instalaciones especiales

Se considera una instalación especial, aquella que necesita un tratamiento particular en cuanto al suministro de energía eléctrica que requiere para su operación, tal como, la instalación de reguladores de tensión y corriente, supresores de picos, fuentes continuas de energía (UPS), etc. Las cuales no existen en el edificio S-7.

2. DIAGRAMAS UNIFILARES

Un diagrama unifilar es un diagrama simplificado de un sistema eléctrico, el cual indica por medio de líneas y símbolos como están conectados los diferentes circuitos y elementos de la red eléctrica en estudio.

2.1. Diagrama unifilar de la red eléctrica general

En las siguientes figuras se muestran los diagramas unificares correspondientes a los ramales del sistema eléctrico Nacional que alimenta los diferentes edificios del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Como puede observarse, la Universidad es alimentada por dos ramales, el primero ingresa por la entrada del anillo periférico, mientras que el segundo ingresa por la avenida Petapa; ambos ramales son líneas de distribución en alta tensión de 13.8 KV, estos ramales se interconectan dentro de la universidad a través de cuchillas seccionadoras.

El edificio S-7 se alimenta por el transformador 202, que a su vez es alimentado por el ramal que ingresa por el anillo periférico, como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Diagrama unifilar red general entrada USAC periférico

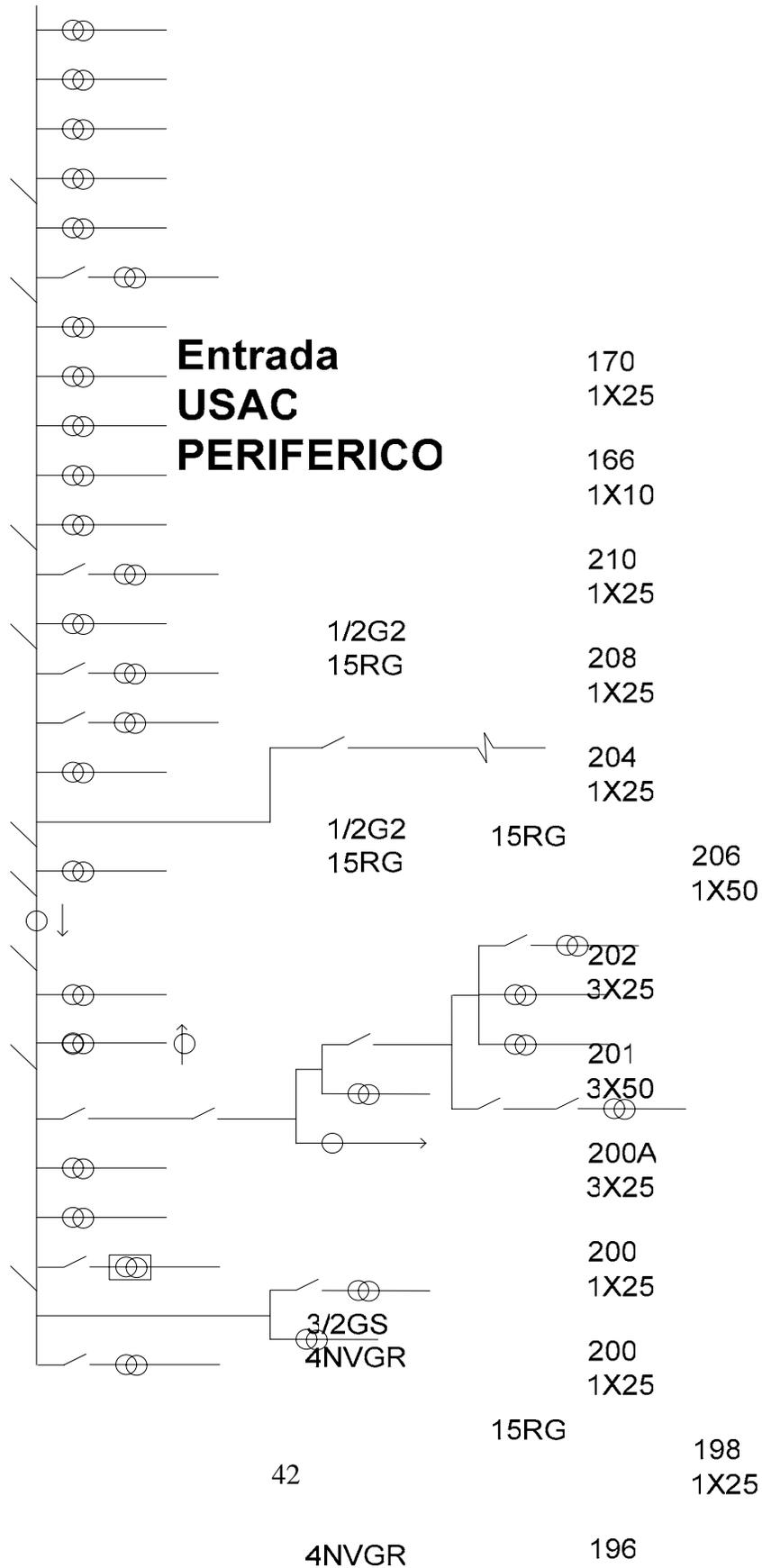
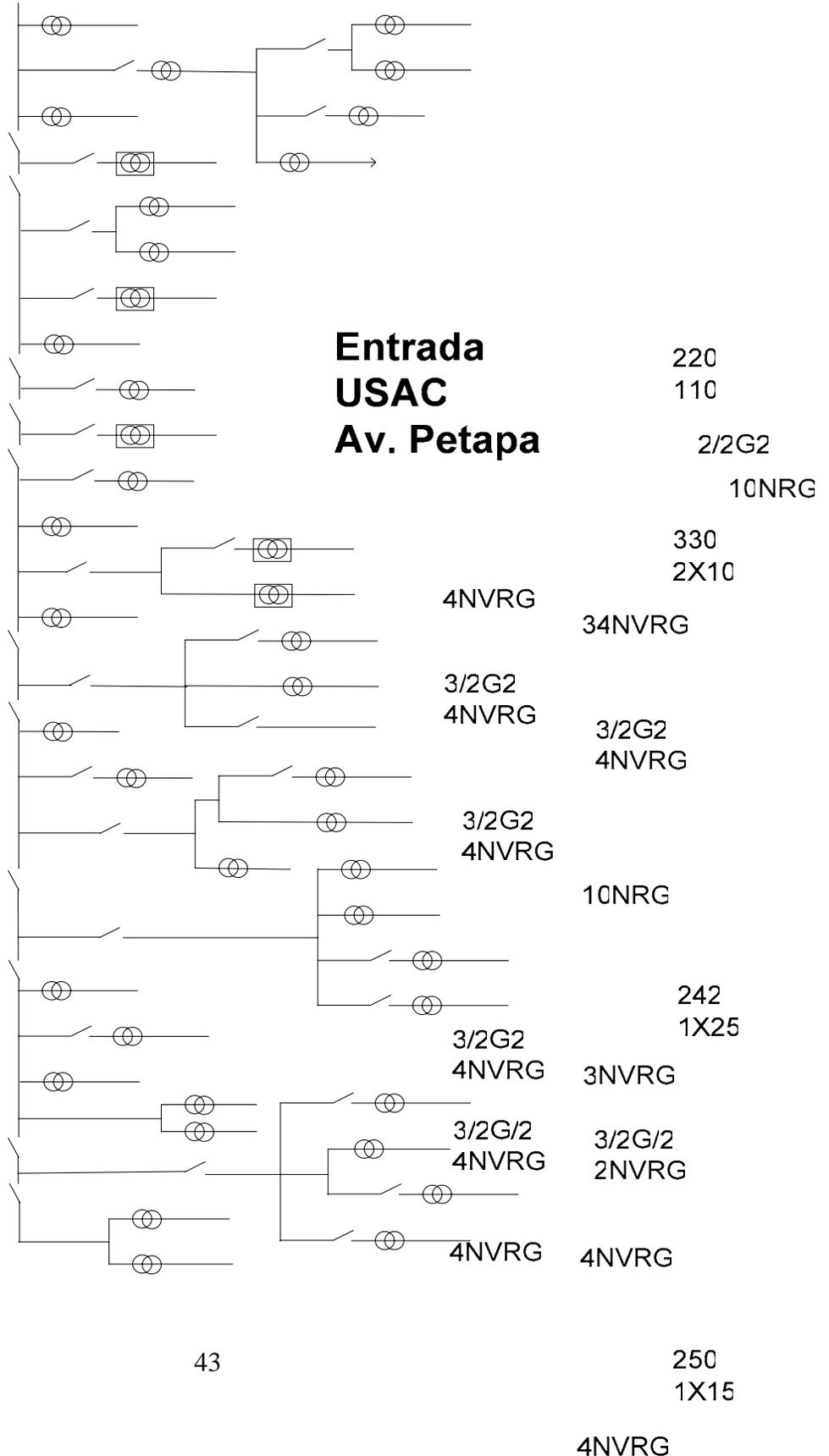


Figura 20. Diagrama unifilar red general entrada USAC Av. Petapa



2.2. Diagrama unifilar de la sub-red eléctrica

Para una mejor descripción de los diferentes circuitos que componen la sub-red eléctrica del edificio S-7, esta fue dividida en tres diagramas unifilares que muestran: el primero la acometida y alimentación a los tableros principales; el segundo muestra los circuitos derivados del tablero principal del primer nivel, los circuitos derivados del tablero principal del segundo nivel. Las siguientes figuras muestran los diagramas unifilares antes mencionados; una descripción detallada de cada uno de los elementos que componen estos diagramas se hizo en el capítulo uno.

Figura 21. Diagrama unifilar acometida

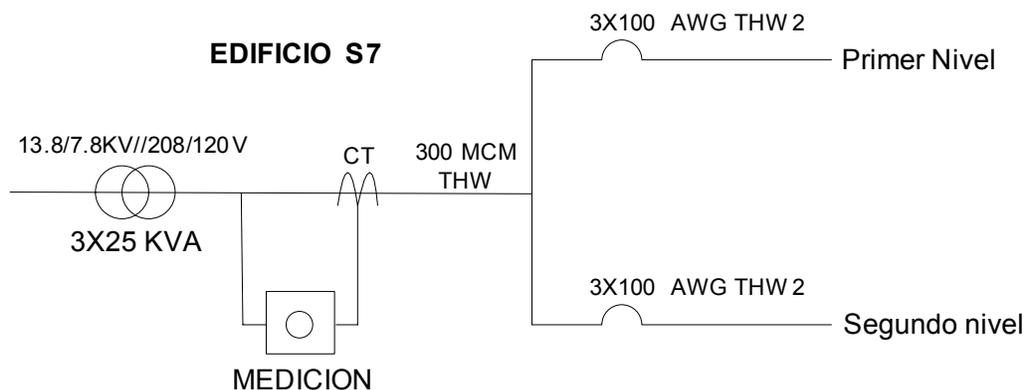


Figura 22. Diagrama unifilar distribución primer nivel

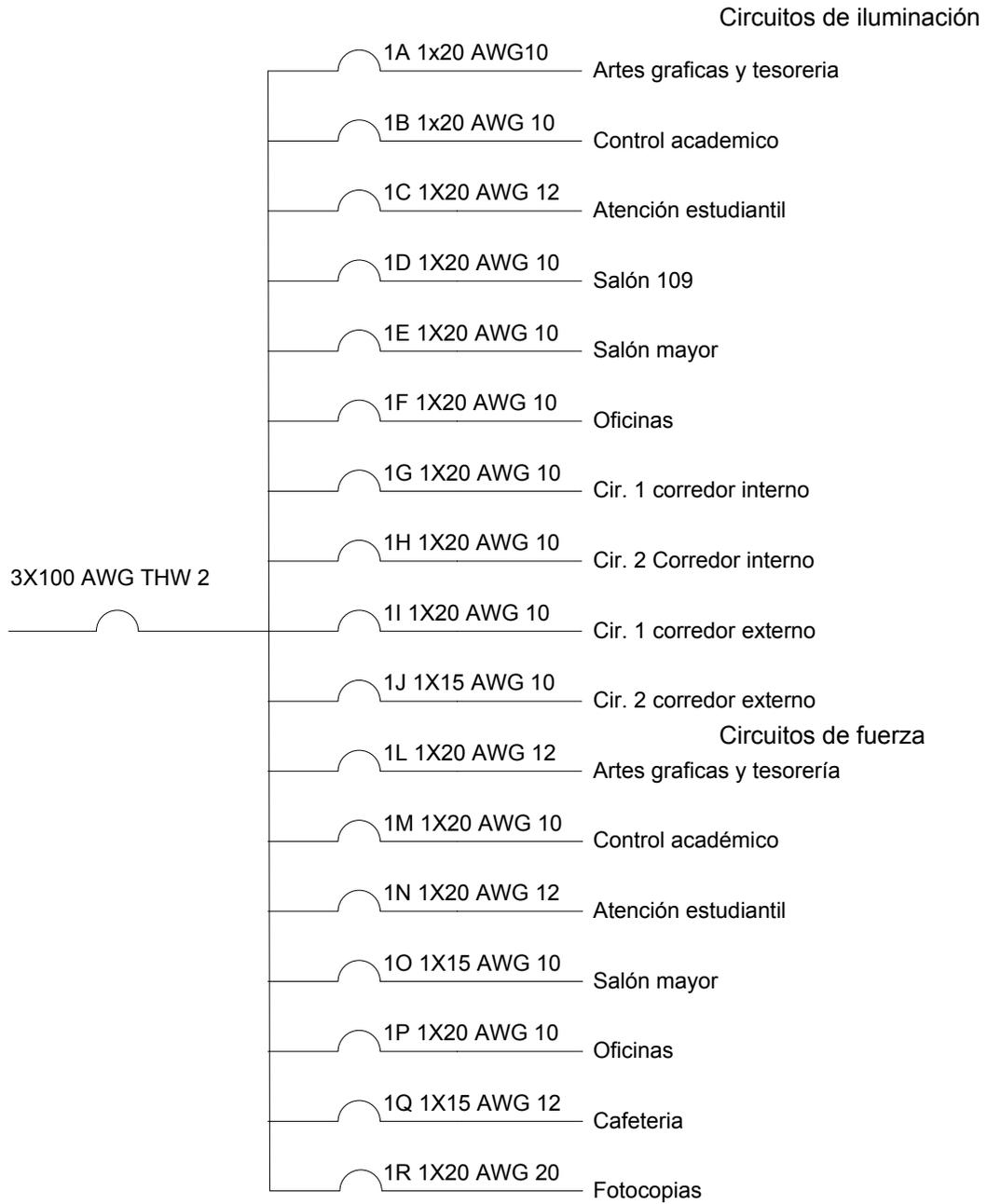
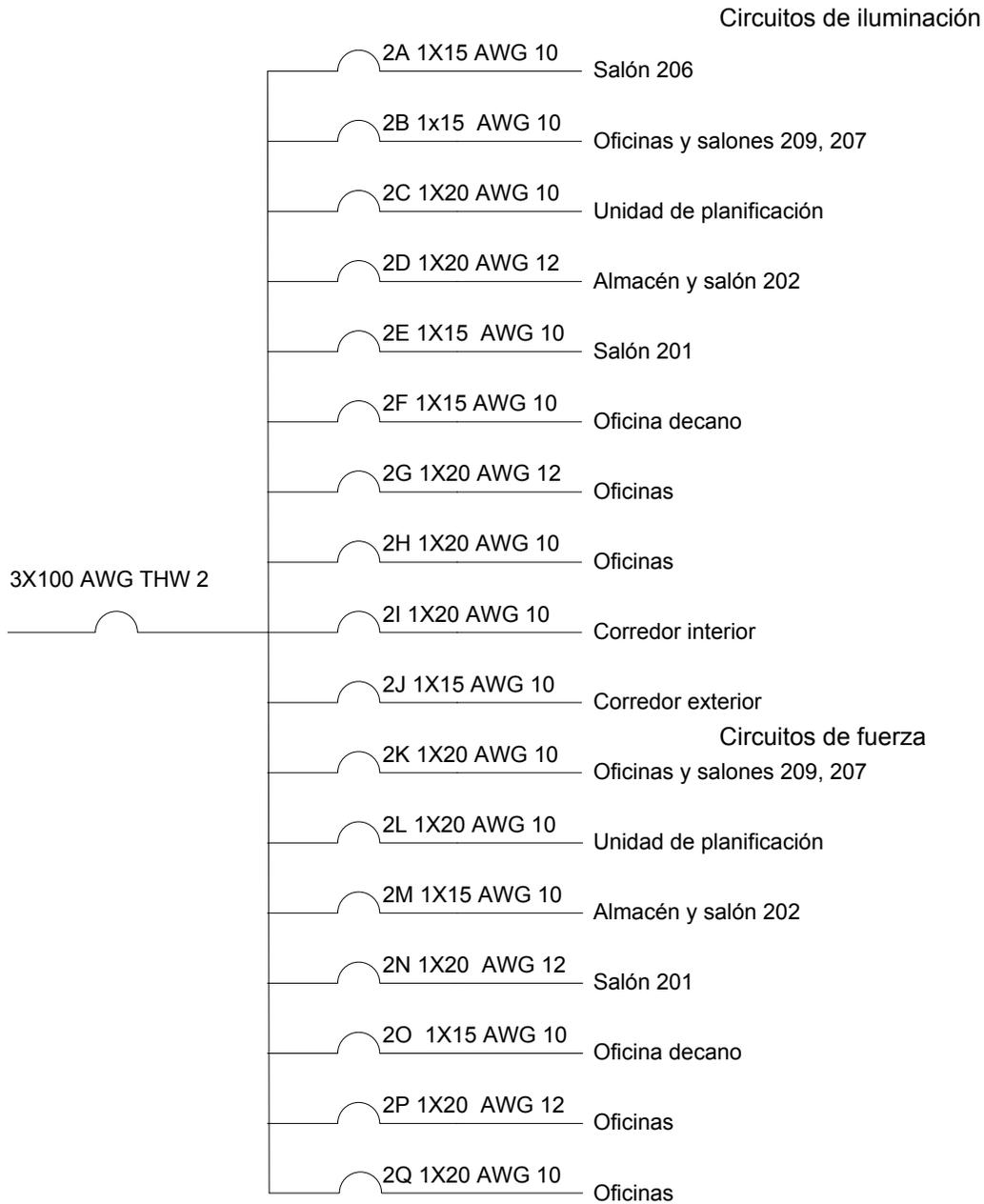


Figura 23. Diagrama unifilar distribución segundo nivel



3. ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

3.1. Cálculo de conductores

Los conductores eléctricos constituyen un elemento fundamental en toda instalación eléctrica, razón por la cual, de su correcto dimensionamiento depende la efectividad en el funcionamiento de la red eléctrica y la duración de su vida útil. Para el cálculo de conductores eléctricos se emplearán los métodos de caída de tensión y por capacidad de corriente, con el fin de determinar los calibres AWG (American Wire Gauge) o MCM (miles de circular mils) que permitan obtener el diseño de un sistema seguro, confiable y económico. El resultado del cálculo que arroje el conductor de mayor sección transversal será el que se seleccione.

3.1.1. Cálculo de conductores por caída de tensión

Se conoce como caída de tensión a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma. La caída de voltaje máxima permitida por la NTIE es del 3% para el circuito alimentador o principal y 3% para circuitos derivados, sin que los dos circuitos juntos sobrepasen el 5%; en los cálculos siguientes se emplearán el 3% y el 2% para los circuitos alimentador y derivado respectivamente.

Para determinar el calibre de los conductores, se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$V = I * R \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$P = V * I * \text{COS}\theta \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{COS}\theta \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$R = \frac{d}{A * K} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

V = tensión nominal en volts

I = corriente nominal en amperios

P = potencia en watts

Cos θ = factor de potencia

R = resistencia del conductor en ohms

d = longitud del conductor en metros

A = sección transversal del conductor en mm²

K = conductividad del conductor (k= 57 mm²/Ω*m para el cobre)

Combinando las ecuaciones anteriores, obtenemos la expresión que nos permite determinar la sección del conductor:

$$A = \frac{I * L}{e * k} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

e = porcentaje de caída de tensión

L = $(\sqrt{3}) * d$ para circuitos trifásicos y $2 * d$ para circuitos monofásicos

A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para determinar el calibre del conductor necesario para alimentar la carga del circuito número uno del tablero de distribución secundario del primer nivel del edificio, cuyos datos son los siguientes: alimentación 120 V; carga instalada 1440 watts; la distancia de la carga al tablero es de 40 metros; factor de potencia de 0.92; se empleara un conductor de cobre ($k=57 \text{ mm}^2/\Omega * \text{m}$) tipo AWG TW por ser un conductor económico cuyas propiedades (ver tabla A-6 del anexo A) se ajustan a las necesidades de la instalación en estudio.

Paso 1: como es un circuito derivado, se permite una caída de tensión máxima del 3%:

$$e = 0.003 * 120 = 3.6 \text{ vols}$$

Paso 2: como es un circuito monofásico se tiene que:

$$L = 2 * 40 = 80 \text{ metros}$$

Paso 3: la corriente a conducir se calcula en función de la potencia de la carga instalada:

$$I = \frac{1440}{120 * 0.92} = 13.04 \text{ _amperios}$$

Paso 4: aplicando la ecuación 3.5 obtenemos el área necesaria del conductor:

$$A = \frac{13.04 * 80}{3.6 * 57} = 5.08 \text{ _mm}^2$$

Paso 5: Elección del conductor que posea un área transversal igual o mayor al área encontrada en el paso cuatro; de la tabla A-1 del anexo A se obtiene que el conductor que cumple este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG TW calibre No. 10.

En las siguientes tablas se muestra el resumen de cálculos para la determinación del calibre de los conductores de la acometida, circuitos alimentadores de los tableros de distribución secundarios de los dos niveles del edificio. Para el caso de los conductores de acometida se aplico un factor de demanda global del 60%.

Tabla X. Cálculo de conductores, circuitos derivados primer nivel

Circuito	Voltaje	Potencia		Corriente	Distancia	Área	Calibre del conductor
	V	P	S	I	d	A	
	volts	watts	va	amperios	metros	mm ²	AWG TW
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL							
Circuito 1A	120	1440		13.04	40	5.09	10
Circuito 1B	120	1440		13.04	32	4.07	10
Circuito 1C	120	1260		11.41	27	3.00	12
Circuito 1D	120	1800		16.30	30	4.77	12
Circuito 1E	120	1440		13.04	36	4.58	10
Circuito 1F	120	940		8.51	20	4.40	12
Circuito 1G	120	1320		11.96	36	3.03	12
Circuito 1H	120	1320		11.96	13	1.51	10
Circuito 1I	120	1800		16.30	22	3.50	12
Circuito 1J	120	1650		14.95	35	5.10	10
Circuito 1K	120		1360	12.32	40	4.80	10
Circuito 1L	120		1400	12.68	25	3.09	12
Circuito 1M	120		1420	12.86	20	2.51	12
Circuito 1N	120		1650	14.95	30	4.37	10
Circuito 1O	120		1500	13.59	35	4.63	10
Circuito 1P	120		1460	13.22	40	5.16	10
Circuito 1Q	120		1500	13.59	35	4.63	10

Tabla XI. Cálculo de conductores, circuitos derivados segundo nivel

Circuito	Voltaje	Potencia		Corriente	Distancia	Área	Calibre del conductor
	V	P	S	I	d	A	
	volts	watts	va	amperios	metros	mm ²	AWG TW
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL							
Circuito 2A	120	1380		12.50	35	4.26	10
Circuito 2B	120	1160		10.51	45	4.61	10
Circuito 2C	120	1330		12.05	36	4.23	10
Circuito 2D	120	960		8.70	26	2.20	12
Circuito 2E	120	460		4.17	55	2.23	12
Circuito 2F	120	1280		11.59	32	3.62	10
Circuito 2G	120	1440		13.04	26	3.31	10
Circuito 2H	120	1240		11.23	28	2.85	12
Circuito 2I	120	1320		11.96	39	4.54	10
Circuito 2J	120	1320		11.96	40	4.66	10
Circuito 2K	120		1411	12.78	37	4.61	10
Circuito 2L	120		1602	14.51	29	4.10	10
Circuito 2M	120		1540	13.95	35	4.76	10
Circuito 2N	120		1220	11.05	38	3.77	10
Circuito 2O	120		1300	11.78	21	2.41	12
Circuito 2P	120		1600	14.49	34	4.80	10
Circuito 2Q	120		1550	14.04	17	2.33	12

Tabla XII. Cálculo de conductores

Circuito	Voltaje	Potencia	Corriente	Distancia	Área	Calibre del conductor
	V	S	I	d	A	
	volts	va	amperios	metros	mm ²	AWG THW
1er. Nivel	208	36197	100	4	5.9	8
2do. Nivel	208	31313	87	8	10.2	6

3.1.2. Cálculo de conductores por capacidad de corriente

La capacidad de conducción de corriente de los conductores eléctricos se ve afectada por factores como la temperatura de operación y la cantidad de conductores que van en la tubería. Cuando se realiza el cálculo de conductores por capacidad de corriente deben tomarse en cuenta estos factores y considerarse también la probabilidad de sobrecargas o desbalances por lo que el NEC recomienda no cargar un conductor sobre el 80% de su capacidad nominal para contar con un margen de seguridad en el dimensionamiento de los conductores. El procedimiento de cálculo consiste en determinar el valor real de la capacidad de conducción de corriente de un conductor aplicando los diferentes factores mediante la siguiente ecuación:

$$I_{real} = I_n * f_t * f_r * f_u \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde:

I_{real} : capacidad de conducción real en amperios

I_n : capacidad de conducción nominal en amperios

f_t : factor de temperatura

f_u : factor de utilización (0.8 de acuerdo a NEC)

Deberá seleccionarse el calibre de conductor cuya capacidad de conducción real de corriente sea igual o mayor a la corriente nominal que se supone circulará por el circuito.

A continuación se muestra el procedimiento de cálculo para determinar el calibre del conductor necesario para alimentar la carga del circuito número uno del tablero de distribución secundario del primer nivel del edificio; se determinó en la sección anterior que la corriente nominal que circulará por este circuito es de 13.04 amperios.

Paso 1: se eligen los factores que se aplicarán para determinar la capacidad real de conducción del conductor. Se considera que la temperatura de operación de circuito será de 21° a 25° centígrados y que por la tubería pasarán entre 4 y 6 conductores, por lo que de acuerdo a la tabla A-7 del anexo A, los valores correspondientes a los factores de corrección por temperatura y cantidad de conductores serán de 1.08 y 0.8 respectivamente.

Paso 2: se elige un conductor (cobre tipo AWG TW para este caso) que se considere tendrá, después de aplicados los factores, una capacidad de conducción real igual o superior a la corriente nominal que circulará por el circuito y se procede a realizar el cálculo. Se elige un conductor calibre 14 que tiene una capacidad de conducción nominal de 20 amperios, por lo que su capacidad de conducción real será:

$$I_{real} = 20 * 1.08 * 0.8 * 0.8 = 14 \text{ _amperios}$$

La capacidad de conducción real de este conductor es de 14 amperios, por lo tanto, es adecuado para este circuito cuya corriente nominal es de 13.04 amperios.

En las siguientes tablas se muestra el resumen de cálculos para la determinación del calibre de los conductores de la acometida, circuitos alimentadores de los tableros de distribución principal de los dos niveles del edificio, circuitos derivados de cada uno de los tableros de distribución principal y de los circuitos del primer y segundo nivel.

Tabla XIII. Cálculo de conductores por corriente, para el primer nivel

Circuito	Corriente ramal	Calibre del conductor	Corriente nominal	Corriente real
	I amperios		I amperios	I amperios
AWG TW				
TABLERO DE DISTRIBUCION PRINCIPAL				
Circuito 1A	13.04	14	20	9.01
Circuito 1B	13.04	14	20	9.01
Circuito 1C	11.41	14	20	7.89
Circuito 1D	16.30	14	20	11.27
Circuito 1E	13.04	14	20	9.01
Circuito 1F	8.51	14	20	5.88
Circuito 1G	11.96	14	20	8.27
Circuito 1H	11.96	14	20	8.27
Circuito 1I	16.30	14	20	11.27
Circuito 1J	14.95	14	20	10.33
Circuito 1K	12.32	14	20	8.52
Circuito 1L	12.68	14	20	8.76
Circuito 1M	12.86	14	20	8.89
Circuito 1N	14.95	14	20	10.33
Circuito 1O	13.59	14	20	9.39
Circuito 1P	13.22	14	20	9.14
Circuito 1Q	13.59	14	20	9.39

Tabla XIV. Cálculo de conductores por corriente, para el segundo nivel

Circuito	Corriente ramal	Calibre del conductor	Corriente nominal	Corriente real
	I		I	I
	amperios		AWG TW	amperios
Circuito 2A	12.50	14	20	8.64
Circuito 2B	10.51	14	20	7.26
Circuito 2C	12.05	14	20	8.33
Circuito 2D	8.70	14	20	6.01
Circuito 2E	4.17	14	20	2.88
Circuito 2F	11.59	14	20	8.01
Circuito 2G	13.04	14	20	9.01
Circuito 2H	11.23	14	20	7.76
Circuito 2I	11.96	14	20	8.27
Circuito 2J	11.96	14	20	8.27
Circuito 2K	12.78	14	20	8.76
Circuito 2L	14.51	14	20	10.02
Circuito 2M	13.95	14	20	9.39
Circuito 2N	11.05	14	30	7.51
Circuito 2O	11.78	14	20	8.14
Circuito 2P	14.49	14	20	10.02
Circuito 2Q	14.04	14	20	9.39

3.1.3. Elección protecciones

Cálculo de protecciones

A continuación se muestra el procedimiento para determinar las protecciones.

Para el circuito 1A

Datos

- La corriente nominal del circuito es 13.04 amperios

Solución

$$I_{\text{BREAKER}} = 1.25 * I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{BREAKER}} = 1.25 * 13.04 = \mathbf{16.30 \text{ Amperios}}$$

En las siguientes tablas se muestra el resumen de cálculos para determinar las protecciones correspondientes para los circuitos del edificio S7.

Tabla XV. Cálculo protecciones primer nivel

Circuito	Corriente nominal	I_{BREAKER} (TEORICO)	Protección
	amperios	AWG TW	
Circuito 1A	13.04	16.30	1 x 20
Circuito 1B	13.04	16.30	1 x 20
Circuito 1C	11.41	14.26	1 x 20
Circuito 1D	16.30	20.38	1 x 30
Circuito 1E	13.04	16.30	1 x 20
Circuito 1F	8.51	10.64	1 x 20
Circuito 1G	11.96	14.95	1 x 20
Circuito 1H	11.96	14.95	1 x 20
Circuito 1I	16.30	20.38	1 x 30
Circuito 1J	14.95	18.69	1 x 20
Circuito 1K	12.32	15.40	1 x 20
Circuito 1L	12.68	15.85	1 x 20
Circuito 1M	12.86	16.08	1 x 20
Circuito 1N	14.95	18.69	1 x 20
Circuito 1O	13.59	16.99	1 x 20
Circuito 1P	13.22	16.53	1 x 20
Circuito 1Q	13.59	16.99	1 x 20

Tabla XVI. Cálculo protecciones segundo nivel

Circuito	Corriente nominal	I _{BREAKER} (TEORICO)	Protección
	amperios	AWG TW	
Circuito 2A	12.50	15.63	21 x 20
Circuito 2B	10.51	13.14	1 x 20
Circuito 2C	12.05	15.06	1 x 20
Circuito 2D	8.70	10.88	1 x 20
Circuito 2E	4.17	5.21	1 x 20
Circuito 2F	11.59	14.49	1 x 20
Circuito 2G	13.04	16.30	1 x 20
Circuito 2H	11.23	14.04	1 x 20
Circuito 2I	11.96	14.95	1 x 20
Circuito 2J	11.96	14.95	1 x 20
Circuito 2K	12.68	15.85	1 x 20
Circuito 2L	14.49	18.11	1 x 20
Circuito 2M	13.59	16.99	1 x 20
Circuito 2N	10.87	13.59	1 x 20
Circuito 2O	11.78	14.73	1 x 20
Circuito 2P	14.49	18.11	1 x 20
Circuito 2Q	13.59	16.99	1 x 20

3.2. Cálculo de tuberías

El número de conductores que pueden conducirse por un sistema de canalización debe limitarse de manera tal que permita facilitar el alojamiento y manipulación de los conductores durante la instalación, y que una vez instalados cuenten con una adecuada ventilación que permita disipar el calor generado por los conductores en operación.

La tubería para la acometida debe cumplir los requisitos establecidos en las normas para acometidas de servicio eléctrico de la empresa eléctrica de Guatemala.

Conservando el sistema actual de canalizaciones se procede primero a realizar el cálculo de las dimensiones de la canaleta. Atendiendo a la recomendación de no llenar una canaleta sobre el 55% de su área total, se calcula primero la suma total del área de todos los conductores que se transportarán en ella, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XVII. Área de conductores conducidos en canaleta

Cantidad	Calibre AWG TW	Área por conductor (pulgadas^2)	Área total (pulgadas^2)
Primer nivel			
2	8	0.0526	0.1052
6	10	0.0311	0.1866
6	12	0.0251	0.1506
14	14	0.0206	0.2884
Suma total del área			0.7308
Segundo Nivel			
4	8	0.0526	0.2104
14	10	0.0311	0.4354
6	12	0.0251	0.1506
2	14	0.0206	0.0412
Suma total del área			0.8376

Tomando como referencia el área total de los conductores en el primer o segundo nivel (por ser mayor); consideramos que las 0.8376 pulgadas cuadradas constituyen el 55% del área total de la canaleta, por lo tanto, aplicando una regla de tres, obtenemos que el área necesaria de la canaleta será de 1.3228 pulgadas cuadradas, por lo que se necesita una canaleta cuadrada de 2 pulgadas de lado que es la que ofrece el área superior mas próxima a la que se necesita.

Para determinar el diámetro de tubería se debe emplear la siguiente ecuación que establece una relación entre la suma del área de los conductores dentro de ella y el área de la tubería, conocida como factor de relleno.

$$F = \frac{a}{A} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

F: factor de relleno

- 0.53 para un conductor,
- 0.31 para dos conductores y
- 0.40 para tres o más conductores

a: área de la sección transversal del conjunto de conductores

A: área de la sección transversal de la canalización

Procedimiento de cálculo: si se necesita conducir 2 conductores calibre 12 y 2 conductores calibre 10, para determinar el diámetro de la tubería primero se selecciona el factor de relleno, que en este caso será de 0.4, luego se determina la suma total de las áreas de los conductores para poder determinar el área necesaria de la tubería y finalmente determinar el diámetro correspondiente de la misma, mediante la siguiente ecuación.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

d: diámetro de la tubería en pulgadas

A: área de la tubería a utilizar

Entonces, realizando el procedimiento antes descrito se tiene:

$$a = (2 * 0.0251) + (2 * 0.0311) = 0.1124 \text{ _ pulgadas}^2$$

$$A = \frac{0.1124}{0.4} = 0.281 \text{ _ pulgadas}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.281}{\pi}} = 0.60 \text{ _ pulgadas}$$

Dado que se requiere una tubería de diámetro igual a 0.60 pulgadas, se elige utilizar un tubería de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro, que es la que se encuentra comercialmente en el mercado. Sin embargo este procedimiento se utiliza cuando por la tubería pasarán conductores de diferente calibre; cuando los conductores a utilizar son del mismo calibre se puede utilizar la siguiente tabla para determinar el diámetro necesario de la tubería.

Tabla XIII. Cantidad de conductores por tubería

Calibre AWG o MCM	Tipo de aislante TW o THW	Diámetro de tubería en pulgadas					
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
	Área aproximada pulgadas ²	Cantidad de conductores					
14	0.0206	4	6	10	18	25	41
12	0.0251	3	5	8	15	21	34
10	0.0311	1	4	7	13	17	29
8	0.0526	1	3	4	7	10	17
6	0.0819	1	1	3	4	6	10
4	0.1087	1	1	1	3	5	8
2	0.1473		1	1	3	3	6
1/0	0.2367			1	1	2	4
2/0	0.2781			1	1	1	3
3/0	0.3288			1	1	1	3
4/0	0.3904				1	1	2

3.3. Diseño del sistema de iluminación

3.3.1. Iluminación de Interiores

Para el diseño del sistema de iluminación de los diferentes ambientes interiores del edificio, se empleara un nivel de iluminación general. El método utilizado para diseñar el sistema de iluminación será el de cavidad zonal, cuyo procedimiento se detalla a continuación, mediante la aplicación del mismo en el diseño del sistema de iluminación de uno de los ambientes del edificio.

El método se aplicará para diseñar el sistema de iluminación del salón de clases 206, el cual tiene dimensiones de 8.80 metros de largo por 7.80 metros de ancho y una altura de 3.00 metros; los colores del techo, pared y piso son blanco, crema y gris respectivamente; el grado de contaminación y suciedad del local se considera como medio; la altura del plano de trabajo es de 0.75 metros sobre el nivel de piso.

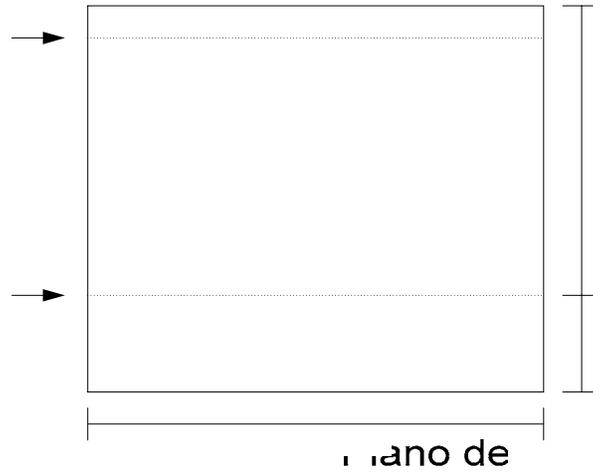
Paso1: El nivel de iluminación adecuado para el local es de 500 lux, según tabla de niveles de iluminación en México publicado en el boletín, Principios de Iluminación y niveles de iluminación en México.

Paso 2: Se utilizarán luminarias con reflector de doble lámparas fluorescentes tubulares tipo luz de día marca Sylvania.

Las especificaciones para este tipo de luminarias son las siguientes: lámparas tipo tubular con acabado tipo luz de día y encendido rápido de 40 watts cada una, 120 V, 1.22 m de longitud, 2600 lúmenes iniciales, 65 lúmenes/metro de eficiencia y 0.83 de factor de depreciación.

Paso 3: Características físicas y reflectancias del local: de la tabla de reflectancias del boletín de ingeniería comercial 2-80 de Sylvania se obtiene que los valores para las reflectancias del techo, pared y piso son de 88%, 81% y 40% respectivamente

Figura 31. Características físicas del local



Para determinar las relaciones de cavidad ~~en el~~ la siguiente ecuación:

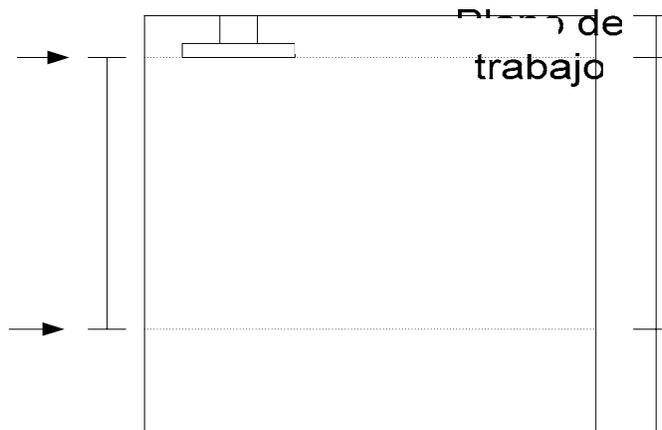
$$RCR = \frac{5 * h * (largo + ancho)}{largo * ancho} \quad \text{Ec.3.9}$$

Donde:

RCR = relación de cavidad

h = altura de cavidad de pared, piso o techo que se este trabajando

Figura 32. Relación de cavidades



Aplicando la ecuación 3.9 se obtienen los valores para las relaciones de cavidad de techo, pared y piso de la siguiente manera:

$$RCR_{(techo)} = \frac{5 * 0.0 * (8.8 + 7.8)}{8.8 * 7.8} = 0.0$$

$$RCR_{(pared)} = \frac{5 * 2.25 * (8.8 + 7.8)}{8.8 * 7.8} = 3.0$$

$$RCR_{(piso)} = \frac{5 * 0.75 * (8.8 + 7.8)}{8.8 * 7.8} = 0.9$$

Tabla XIX. Relaciones de cavidad y porcentaje de reflectancia

Cavidad	% reflectancia	% reflectancia aproximado	RCR
Techo	88	90	0.0
Pared	81	80	3.0
Piso	40	40	0.9

La tabla anterior muestra un resumen de los datos obtenidos hasta este momento; para el cálculo de reflectancias efectivas de techo, pared y piso, de no existir el valor exacto en las tablas del boletín Sylvania, se procede a realizar la interpolación o extrapolación utilizando el siguiente esquema y formula:

A ----- D

B ----- E

C ----- F

$$\frac{A-B}{A-C} = \frac{D-E}{D-F} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Donde: Las variables A, B, y C corresponden a los valores conocidos de las relaciones de cavidad; y dos de las variables D, E y F corresponden a los valores conocidos de reflectancia efectiva, siendo la tercera variable la incógnita del valor de reflectancia efectiva buscado.

En la siguiente tabla se muestra los resultados de la extrapolación para determinar el porcentaje de reflectancia efectiva para techo y piso; para la pared se obtiene de las tablas un valor de reflectancia efectiva del 65%.

Tabla XX. Porcentaje de reflectancia efectiva para piso y techo

% reflectancia individual pared	% reflectancia individual	RCR	% reflectancia efectiva
	Techo		
80	90	0.0	Y = 90
80	90	0.2	88
80	90	0.4	87
	Piso		
80	40	0.6	40
80	40	0.8	40
80	40	0.9	Y = 40

Paso 4: Cálculo de los factores de depreciación y de mantenimiento: Según tabla del fabricante el factor de depreciación de la lámpara (LLD) es de 0.83. Tomando una categoría de mantenimiento de luminaria No. III (ver figura B-1 del anexo B), considerando el grado de contaminación por suciedad y polvo en el local como medio, para un tiempo de uso de 36 meses se obtiene que el grado de degradación por suciedad en la luminaria (LDD) es del 73%.

Para determinar el factor de mantenimiento se emplea la siguiente ecuación:

$$FM = LDD * LLD \quad \text{Ec.3.11}$$

Donde:

FM: factor de mantenimiento

LDD: factor de degradación de la luminaria

LLD: factor de depreciación de la lámpara

Aplicando la ecuación anterior, para un factor de degradación de 0.73 y un factor de depreciación de 0.83; se obtiene un factor de mantenimiento de 0.61.

Paso 5: Cálculo del coeficiente de utilización (CU) de la luminaria: del catálogo del fabricante (ver figura B-2 del anexo B), para la luminaria elegida se tiene una relación de espaciamiento máximo de la luminaria a la altura de montaje (S/MH) de 1.3. Para obtener el valor del CU se extrapola e interpola entre los valores obtenidos del Boletín de ingeniería comercial 2-80 Sylvania "Cálculos de proyectos de iluminación" se obtiene para un 20% de reflexión del piso, un coeficiente de utilización de 0.992. El procedimiento de cálculo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XXI. Determinación del coeficiente de utilización

Primera extrapolación				Segunda extrapolación			Interpolación
% reflectancia efectiva Techo	70	80	90	70	80	90	90
% reflectancia efectiva Pared	30	30	30	50	50	50	65
RCR(local)	1	1	1	1	1	1	1
C.U.	0.82	0.85	Y = 0.91	0.85	0.88	Y = 0.94	Y = 0.992

El coeficiente de utilización calculado, considera una reflectancia efectiva de piso del 20%, sin embargo, el valor real de reflectancia efectiva de piso es de 40%, por lo tanto debe hacerse una corrección. El coeficiente de utilización corregido se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$CU_C = CU_D * FC \quad \text{Ec. 3.12}$$

Donde:

CU_C: coeficiente de utilización corregido

CU_D: coeficiente de utilización dado

FC: factor de corrección

El factor de corrección se obtiene interpolando y extrapolando entre los valores dados en el Boletín de ingeniería comercial Sylvania. La siguiente tabla muestra el procedimiento de cálculo para obtener dicho factor.

Tabla XXII. Determinación del factor de corrección para el coeficiente de utilización

Primera interpolación				Segunda interpolación				Extrapolando		
Reflectancia efectiva techo (%)	70	70	70	80	80	80	90	90	90	
Reflectancia efectiva pared (%)	50	65	70	50	65	70	65	65	65	
RCR (local)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
F.C.	1.1	1.08	1.08	1.085	1.089	1.092	1.12	1	1.351	
Reflectancia efectiva piso (%)	30	30	30	30	30	30	30	20	40	

En la tabla anterior se observa que el factor de corrección a aplicar para determinar el coeficiente de utilización corregido es de 1.351; por lo que dicho coeficiente será:

$$CU_{C(40\% \text{ piso})} = 0.992 * 1.351 = 1.342$$

Paso 6. Cálculo de número de luminarias a instalar en el local. Para determinar el número de luminarias a colocar en el local, se utiliza la siguiente ecuación:

$$No.de.luminarias = \frac{NI * area}{NL * lumenesporlampara * CU * FM} \quad Ec.3.13$$

Donde:

NI: nivel de iluminación

CU: coeficiente de utilización

FM: factor de mantenimiento

NL: numero de lámparas por luminaria

$$No.de.luminarias = \frac{500 * (8.8 * 7.8)}{2 * 2600 * 1.342 * 0.61} \cong 8_luminarias$$

Para determinar la máxima separación entre luminarias se emplea la siguiente ecuación:

$$S_{mas} = REM * h_{cl} \quad Ec. 3.14$$

Donde:

S_{max}: espaciamiento máximo entre luminarias

REM: relación de espaciamiento máximo (S/MH)

h_{cl}: altura de la cavidad local

Aplicando la ecuación anterior obtenemos para el espaciamiento máximo:

$$S_{mas} = 1.3 * 2.25 = 2.93_metros$$

Dado que se deben utilizar 8 luminarias; se hace una distribución inicial de 4 luminarias a lo largo y 2 luminarias a lo ancho del local y se procede a verificar la homogeneidad de la iluminación mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{\text{distancia}}{\text{numero.de.luminarias}} \quad \text{Ec. 3.15}$$

Donde:

S: separación entre luminarias

Para que la iluminación sea homogénea, el valor obtenido de la separación entre luminarias debe ser igual o menor al valor de separación máxima permitida. Verificando los valores de separación entre luminarias obtenemos:

A lo largo:

$$S = \frac{8.80}{4} = 2.2_metros$$

A lo ancho:

$$S = \frac{7.80}{2} = 3.9_metros$$

Como puede observarse, la separación de luminarias a lo ancho (3.9 m.) excede el valor máximo permitido (2.93 m.); por lo cual se debe hacer una nueva distribución. Se empleara ahora una distribución de 3 luminarias a lo largo y 3 luminarias a lo ancho; y se procede a hacer la verificación de homogeneidad de iluminación:

A lo largo:

$$S = \frac{8.80}{3} = 2.93_metros$$

A lo ancho:

$$S = \frac{7.80}{3} = 2.6_metros$$

En este caso la separación tanto a lo largo, como a lo ancho cumplen la condición de ser igual o menor a 2.93 metros; por lo que esta será la distribución de luminarias a utilizar. Para determinar la separación de las luminarias de la pared se utilizan la siguiente ecuación.

$$S_p = \frac{S}{2} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde:

S_p : separación de pared a luminaria

S : separación entre luminarias

Aplicando la ecuación anterior se obtienen las separaciones de pared a luminaria a lo largo y ancho del salón, de la siguiente manera:

A lo largo:

$$S = \frac{2.93}{2} = 1.47_metros$$

A lo ancho:

$$S = \frac{2.6}{2} = 1.3_metros$$

Por lo tanto, el sistema de iluminación del salón 209, estará compuesto por 9 luminarias con dos lámparas fluorescentes de 40 watts por luminaria, distribuidas 3 luminarias a lo largo y 3 luminarias a lo ancho, con una separación entre luminarias de 2.93 metros a lo largo y 2.6 metros a lo ancho; separadas de la pared 1.47 metros a lo largo y 1.3 metros a lo ancho; las luminarias deben colocarse de forma que las lámparas queden perpendiculares a la pared en la cual se ubica la pizarra; las vistas de planta y elevación de esta distribución muestran en las siguientes figuras.

Figura 24. Distribución de luminarias salón 209 (Planta)

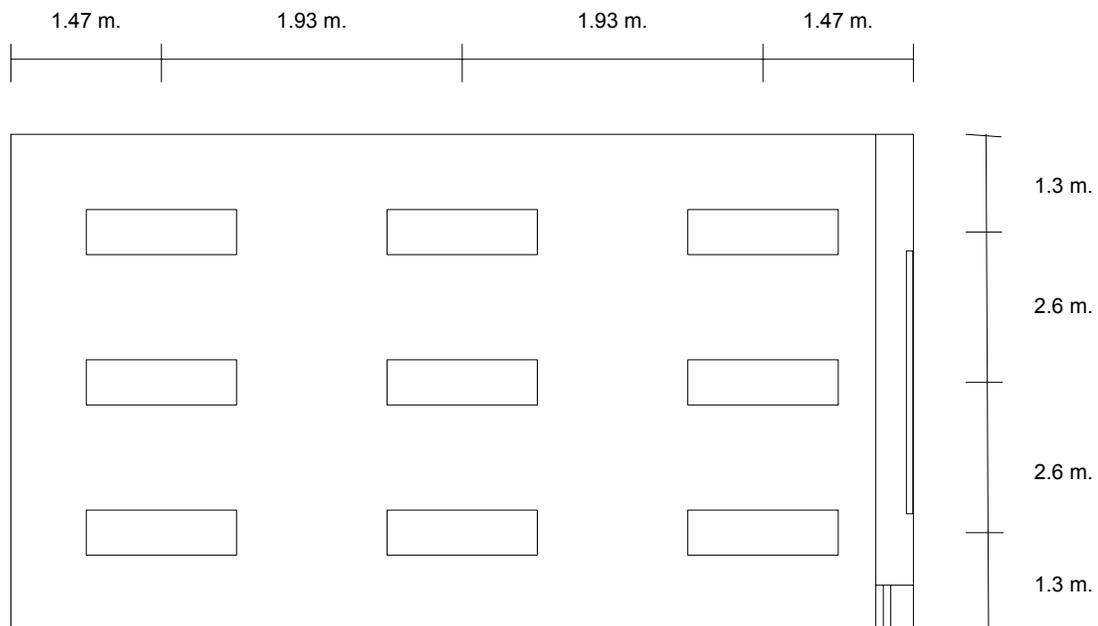


Figura 25. Distribución de luminarias salón 209 (Elevación, largo)

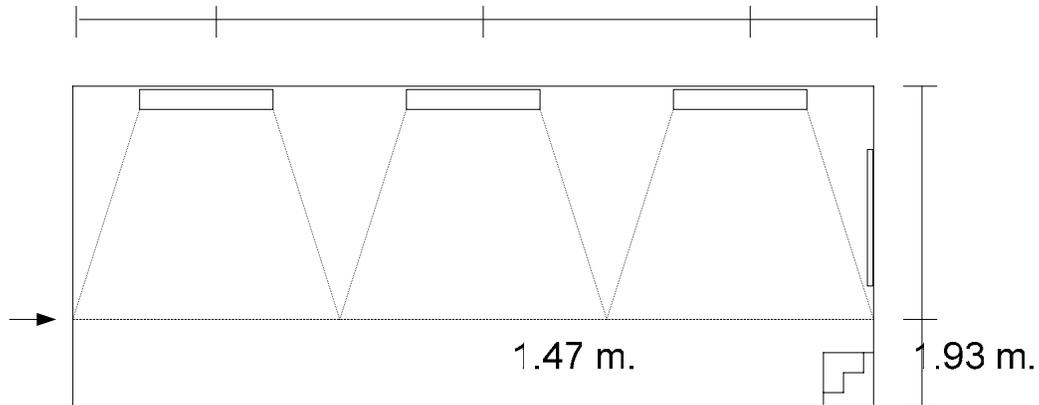
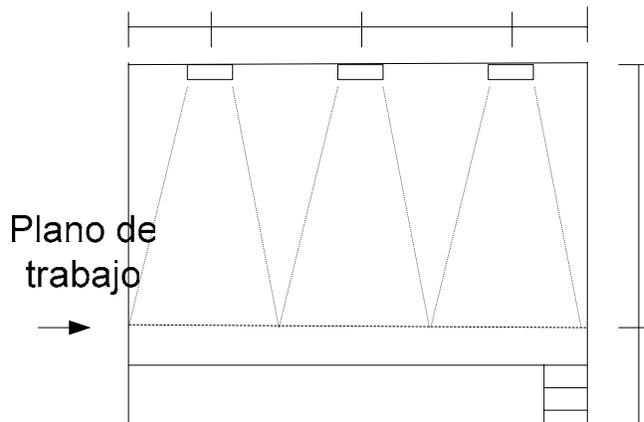


Figura 26. Distribución de luminarias salón 209 (Elevación, ancho)



Los cálculos correspondientes a todos los ambientes del edificio se muestran en la tabla en la sección de anexos.

3.3.2. Iluminación de parqueos

El objetivo de contar con iluminación en el área de parqueo es brindar a los usuarios una segura, rápida y cómoda visibilidad por la noche, además de brindar seguridad contra la delincuencia y crear un ambiente agradable. Para diseñar un sistema de iluminación de exteriores, existen varios métodos aplicables, entre ellos de método punto por punto o el método de curvas isolux; para la aplicación de estos métodos se requiere conocer los datos de las luminarias que son proporcionados por el fabricante, tales como las curvas fotométricas, ancho del haz, vida útil y depreciación de la lámpara entre otras.

La utilización de los métodos antes mencionados se justifica cuando las áreas a iluminar son grandes, y la iluminación es un factor crítico del proyecto; sin embargo, en el caso del edificio el área de parqueo a iluminar es relativamente pequeña, por lo que para diseñar el sistema de iluminación recurriremos a distribuciones típicas de luminarias que garantizan niveles de iluminación aceptables de acuerdo a las necesidades planteadas.

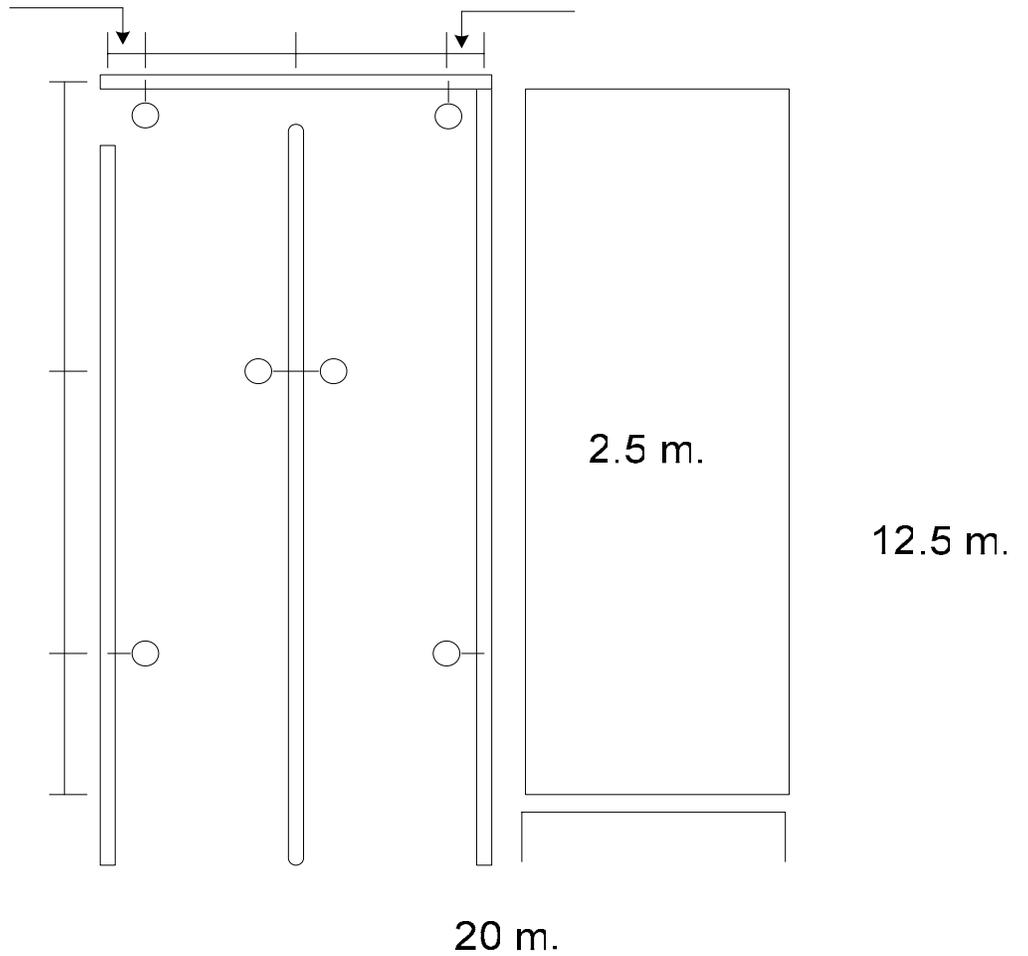
El emplazamiento, separación y altura de montaje apropiados de las luminarias implican factores de iluminación tales como la relación de uniformidad entre el nivel luminoso más bajo y el medio y el deslumbramiento mínimo. Para determinar el número de luminarias, altura de montaje, distribución y demás características del sistema de iluminación, recurriremos a la tabla de valores para niveles de iluminación recomendados y tabla de configuraciones típicas aceptables de alumbrado del manual de alumbrado Westinghouse.

El parqueo del edificio S-7 tiene un área de 50 metros de largo por 30 metros de ancho, dividida en dos sectores rectangulares de 50 m. de largo por 15 m. de ancho. El manual de alumbrado recomienda un nivel de iluminación de 20 lux para zonas de aparcamiento cuando este es atendido; entonces, atendiendo esta recomendación, observamos de la tabla de configuraciones típicas de alumbrado, diseñada para áreas de 7.2 metros de ancho, que el sistema adecuado para el parqueo esta compuesto por lámparas de mercurio tipo H33-1CD de 400 watts clara, con una emisión luminosa de 21,000 lúmenes.

La separación entre postes recomendada es de 30 metros, sin embargo, dado que el ancho de cada sector del parqueo es mayor que el valor establecido en el manual; los postes se colocarán con una separación de 20 metros, para obtener un nivel de iluminación medio de 22 lux.

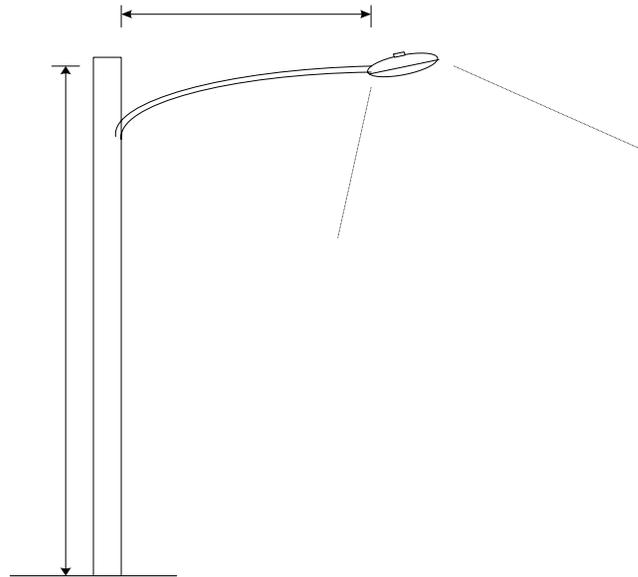
La distribución de las luminarias recomendada es colocarlas en un solo lado de cada sector del parqueo, sin embargo, por las razones antes mencionadas, se empleara una distribución tipo “Al tresbolillo”, que consiste en colocar las lámparas alternadas en ambos lados para cada sector del parqueo. La siguiente figura muestra la distribución final de las lámparas.

Figura 27. Distribución de luminarias en área de parqueo



La siguiente figura muestra las dimensiones del poste a utilizar y sus accesorios; la altura de montaje de la lámpara es de 9 metros y la longitud del brazo que la sostiene es de 1.22 metros.

Figura 28. Dimensiones del poste y accesorios



1.22 m.

3.4. Diseño de red de tierras

Como se mencionó en el capítulo uno, no se hace necesario diseñar un sistema de red de tierras complejo, sino, es suficiente aplicar lo recomendado al respecto por las normas para acometidas de servicio eléctrico, de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

9.0 m.

Estas normas establecen que el neutro de la instalación debe estar conectado sólidamente a tierra, mediante un conductor cuyo calibre no será menor que el calibre No. 8 AWG cobre; y los electrodos de tierra podrán ser varillas de cobre con una longitud mínima de 2.5 metros y 5/8" de diámetro o bien varillas de acero galvanizado de 6 pies de largo y diámetro de 5/8". Cabe mencionar que el edificio cuenta actualmente con estos requerimientos.

3.5. Cálculo de pararrayos

Como se dijo antes, los pararrayos se utilizan como protección contra descargas atmosféricas, dado que la concentración de campos eléctricos es mayor en objetos puntiagudos, las descargas escogen su trayectoria a través de torres o esquinas de estructuras o edificios. Según el “*Lightning Protection Code*” (NFPA), un objeto está razonablemente protegido cuando queda bajo un cono cuyo vértice superior es la punta de la barra, y que tiene una base de radio igual a dos veces la altura de la punta.

La NFPA establece un método de construcción de sistemas de pararrayos en edificios, consistente en lo siguiente:

- Las barras puntiagudas deben estar conectadas, al menos, a dos conductores que vayan a la tierra en direcciones opuestas y con las trayectorias más cortas posibles.
- Las curvaturas de los conductores deben ser lo más amplias posibles y nunca formar ángulos menores a 90° . Deben estar colocados en el lado exterior de los muros y protegidos contra daños metálicos (entubados) en zonas de tránsito.
- Los cables conductores y de interconexión no deben ser menores al calibre número 2 AWG.

- Las varillas que sirven como terminal puntiaguda deben tener una altura mínima de 0.6 metros y la misma sección neta especificada para los cables.
- En edificios con azoteas planas las terminales puntiagudas deben colocarse en todas las esquinas y sobre las orillas con una separación máxima de 7.5 metros. En el interior de la azotea la separación puede ser hasta de 15 metros.
- El material de las varillas y de todos los elementos del sistema debe estar protegido contra la oxidación y el envejecimiento.

El método descrito es una buena opción para el edificio, ya que las características de éste se ajustan a las indicadas (posee azotea plana), por lo tanto, considerando lo expuesto en el capítulo uno, bastará colocar un sistema de pararrayos consistente en cuatro captadores (varillas), como la que se muestra en la siguiente figura, de 0.6 metros de longitud mínima y 33.6 mm^2 de sección transversal, ubicados uno en cada esquina del edificio e interconectados entre sí y a tierra mediante un conductor tipo AWG TW calibre No. 2, la conexión a tierra de los pararrayos deberá hacerse desde dos puntos, ubicados en esquinas opuestas del edificio; se precisa que la tierra a la que se conectará el sistema de pararrayos tenga un valor de resistencia final inferior a los 10 ohms; como se ha mencionado anteriormente, la resistencia del terreno es de 1.15 ohms, por lo que no se requiere una red de tierras ni tratamiento especial del terreno, sino, basta colocar un electrodo de toma a tierra, dicho electrodo puede ser de las mismas características del utilizado para la conexión a tierra de la instalación.

Figura 29. Varilla captadora



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

4.1. Conductores

Las siguientes tablas muestran la comparación entre los calibres de los conductores existentes en los diferentes circuitos del edificio y los calibres de conductores que según diseño deben emplearse en cada circuito. Como puede observarse, el 90.65% de los conductores de los circuitos derivados existentes son de un calibre inferior al que según el diseño es necesario para soportar la corriente a plena carga sin calentarse y operar de forma segura. En el caso de los alimentadores, el calibre de los conductores también se encuentra inferior al recomendado. Se hace notar que los conductores se diseñan para soportar el 100% de la carga instalada, sin embargo, solamente un 25% del total de los tomacorrientes ubicados en los salones de clases opera simultáneamente en los casos de mayor demanda, por lo cual, los conductores existentes actualmente funcionan adecuadamente si se mantiene esta forma de uso.

Tabla XXIII. Comparación de conductores primer nivel

Circuito	Calibre del conductor (existente)	Calibre del conductor (teórico)
	AWG TW	AWG TW
Circuito 1A	10	10
Circuito 1B	10	10
Circuito 1C	12	12
Circuito 1D	10	12
Circuito 1E	10	10
Circuito 1D	10	14
Circuito 1G	10	12
Circuito 1H	10	14
Circuito 1I	10	10
Circuito 1J	10	10
Circuito 1K	10	10
Circuito 1L	12	12
Circuito 1M	10	12
Circuito 1N	10	10
Circuito 1O	10	10
Circuito 1P	10	10
Circuito 1Q	12	10

Tabla XXIV. Comparación de conductores segundo nivel

Circuito	Calibre del conductor (existente)	Calibre del conductor (teórico)
	AWG TW	AWG TW
Circuito 2A	10	10
Circuito 2B	10	10
Circuito 2C	10	10
Circuito 2D	12	12
Circuito 2E	10	12
Circuito 2F	10	10
Circuito 2G	12	10
Circuito 2H	10	12
Circuito 2I	10	10
Circuito 2J	10	10
Circuito 2K	10	10
Circuito 2L	10	10
Circuito 2M	10	10
Circuito 2N	12	10
Circuito 2O	10	12
Circuito 2P	10	10
Circuito 2Q	10	12

4.2. Comparación de protecciones

Las protecciones calculadas teóricamente algunas son menores a las utilizadas y esto se debe a que comercialmente no existe con esta cantidad de amperios, el 85% de las protecciones son las correctas, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla XXV. Comparación de protecciones primer nivel

Circuito	Protección (existente) Amperios	Protección (Teórico) Amperios
Circuito 1B	1x20	1x20
Circuito 1C	1x20	1x20
Circuito 1D	1x20	1x30
Circuito 1E	1X15	1x20
Circuito 1D	1x20	1x20
Circuito 1G	1x20	1x20
Circuito 1H	1x20	1x20
Circuito 1I	1x30	1x30
Circuito 1J	1X15	1x20
Circuito 1K	1x20	1x20
Circuito 1L	1x20	1x20
Circuito 1M	1X15	1x20
Circuito 1N	1x20	1x20
Circuito 1O	1X15	1x20
Circuito 1P	1X15	1x20
Circuito 1Q	1x20	1x20

Tabla XXVI. Comparación de conductores segundo nivel

Circuito	Protección (existente) Amperios	Protección (Teórico) Amperios
Circuito 2A	1X15	1x20
Circuito 2B	1X15	1x20
Circuito 2C	1x20	1x20
Circuito 2D	1x20	1x20
Circuito 2E	1X15	1x20
Circuito 2F	1X15	1x20
Circuito 2G	1x20	1x20
Circuito 2H	1x20	1x20
Circuito 2I	1x20	1x20
Circuito 2J	1X15	1x20
Circuito 2K	1x20	1x20
Circuito 2L	1x20	1x20
Circuito 2M	1X15	1x20
Circuito 2N	1x20	1x20
Circuito 2O	1X15	1x20
Circuito 2P	1x20	1x20
Circuito 2Q	1x20	1x20

4.3. Canalizaciones

El sistema de canalizaciones existente en el edificio es el adecuado para la cantidad de conductores que se conducen por el mismo, como puede comprobarse al comparar las dimensiones de la tubería diseñada con la existente. En el caso de la canaleta existente utilizada como distribuidor, esta sobre dimensionada, ya que la existente es cuadrada de 4 pulgadas de lado, mientras, la necesaria según diseño es cuadrada de 2 pulgadas de lado.

4.4. Sistema de iluminación

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre los niveles de iluminación existente en los diferentes ambientes del edificio y los niveles de iluminación recomendados por la Comisión Internacional de Iluminación.

Tabla XXVII. Comparación de niveles de iluminación

Ambiente	N.I. medido (luxes)	N.I. recomendado (luxes)
Primer Nivel		
Artes graficas y tesorería	210	500
Control Académico	180	500
Atención estudiantil	231	500
Salón 109	231	500
Salón mayor	240	500
Oficinas	218	500
Circuito 1, corredor interno	86	100
Circuito 2, corredor interno	85	100
Circuito 1, corredor externo	35	100
Circuito 2, corredor externo	45	100
Segundo Nivel		
Salón 206	221	500
Oficinas y salones 209, 207	219	500
Unidad de planificación	213	500
Almacén y salón 202	190	500
Salón 201	200	500
Oficina decano	225	500
Oficinas	212	500
Corredor interior	85	100
Corredor exterior	80	100

Se observa que en todos los ambientes a excepción del área de parqueo, existe una deficiencia de nivel de iluminación. Los sistemas de iluminación de los diferentes ambientes se diseñaron de acuerdo a los niveles de iluminación recomendados, prestando atención especial a la iluminación de los salones de clase, en donde, una iluminación adecuada es muy importante para lograr un ambiente confortable, evitando la fatiga visual con el objetivo de aumentar la productividad de las actividades que allí se realizan.

4.5. Red de tierras y pararrayos

El sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica existente es funcional y no se requiere el diseño de un sistema de red de tierras complejo, ni tratamiento especial del terreno, ya que la resistencia de tierra alrededor del edificio es bastante menor a la recomendada.

Actualmente, el edificio no cuenta con sistema de pararrayos, por lo que se realizó un diseño en la sección 3.5, página 80, acorde a las características del edificio que permite proteger la instalación eléctrica, equipo de oficina y a la estructura del edificio en general contra descargas electro atmosféricas.

5. IMPACTO TÉCNICO RECÍPROCO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-7 Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Las normas técnicas del servicio de distribución establecen como una obligación del distribuidor, prestar a sus usuarios, un servicio de energía eléctrica que cumpla con los índices o indicadores de calidad exigidos por la norma como lo son el desbalance de tensión y la distribución armónica. De igual forma establece como obligaciones de los usuarios poseer las instalaciones eléctricas internas, que eviten introducir perturbaciones en la red del distribuidor que afecte la calidad del servicio eléctrico de distribución. En caso de que el distribuidor o el consumidor incurrieran en alguna falta a lo normado respecto a los índices o indicadores de calidad, el infractor deberá pagar al afectado una indemnización, cuyo costo se calcula de la manera explicada en el capítulo uno.

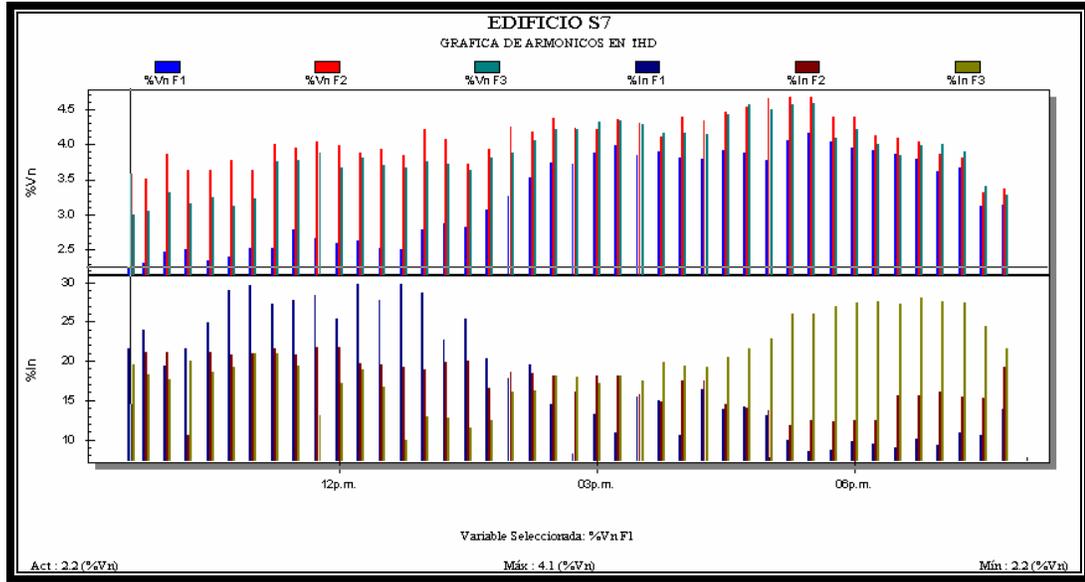
Para determinar el impacto técnico recíproco en los índices de calidad entre el edificio y la red eléctrica de distribución, se requería realizar la medición de calidad de energía en la entrada de la acometida, considerando al edificio como una carga puntual, y permaneciendo este fuera de servicio durante el período de medición. Este período de medición debía ser por lo menos igual al período de medición utilizado con el edificio en funcionamiento (24 horas en este caso); sin embargo, dada las funciones administrativas y docentes que se realizan en el edificio, no era posible dejarlo fuera de servicio, por lo que para realizar la comparación, se dividió el periodo de medición realizado con el edificio conectado, en dos intervalos de ocho horas cada uno que simulan, uno la medición con el edificio conectado, y el otro la medición con el edificio desconectado.

El período que se utilizará para simular la medición con el edificio conectado es el comprendido entre la 13:00 hrs. y las 22:00 hrs. que corresponden al período de mayor consumo de energía eléctrica por parte del edificio; para simular la medición de los parámetros de calidad de energía con el edificio desconectado se empleará el período comprendido entre las 22:00 hrs. y las 07:00 hrs. que corresponden al período en el cual el edificio tiene mínimo consumo de energía; por esta razón es importante hacer notar que los resultados obtenidos son una aproximación a los valores reales, por lo tanto los no son concluyentes de que el edificio como usuario o la red del distribuidor estén incumpliendo con los parámetros de calidad que se establecen en las normas.

5.1. Distorsión armónica

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se muestra en las siguientes figuras el comportamiento de la distorsión armónica total de voltaje (THDV) de cada una de las líneas, representando la línea punteada la medición con el edificio fuera de servicio y la línea continua la medición con el edificio en servicio, como puede observarse, en los tres casos la distorsión armónica aumenta cuando la carga del edificio esta en funcionamiento, por lo que se considera que durante este período el edificio genera armónicos que se suman al sistema, esto puede deberse a la gran cantidad de equipo eléctrico de oficina que se encuentra en el edificio. Es importante hacer notar que la distorsión armónica total se encuentra en todo momento muy por debajo del límite establecido por la norma, el cual es del 8%, por lo que es aceptable.

Figura 30. Gráfica de distorsión armónica



6. EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL EDIFICIO S-7 AL MERCADO MAYORISTA COMO GRAN USUARIO

En 1996, el Gobierno de la República de Guatemala puso en marcha el ordenamiento de la industria eléctrica del país, emitiendo la Ley General de Electricidad; en el artículo 44 de esta Ley se crea el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), una entidad privada, sin fines de lucro, cuyas funciones son:

- La coordinación de la operación de centrales generadoras, 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.
- 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.
- Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país.

6.1. Requisitos para la incorporación al Mercado Mayorista

El instructivo que determina los requisitos, derechos y obligaciones para participar en el Mercado Mayorista y verificación del cumplimiento de requisitos para la participación en la operación y las transacciones, establece que un “Gran Usuario” es aquel que tenga una demanda máxima de al menos 100 KW y determina que para participar en el mercado mayorista, los Grandes Usuarios 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:
 - i) Una solicitud indicando que se desea incorporar al mercado a término, un contrato o modificación a un contrato vigente.
 - ii) 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.

- iii) 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.

6.2. Factibilidad de incorporar el edificio al Mercado Mayorista

Actualmente, el edificio S-7 tiene una demanda máxima de aproximadamente 75 KW, por lo tanto no cumple con el requisito de tener una demanda máxima de al menos 100 KW para considerarse un Gran Usuario y poder ser participante del mercado mayorista, por lo tanto, no es posible que en este momento el edificio se incorpore como miembro del mercado mayorista.

7. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAMBIOS SUGERIDOS A LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En las siguientes tablas se muestra el detalle de la cantidad de materiales a utilizar para llevar a cabo la implementación de las modificaciones del sistema eléctrico planteadas en los diferentes ambientes del edificio S-7; de igual forma se muestra el costo unitario de cada uno de los materiales, así como el total parcial por cada nivel.

Tabla XXVIII. Costo de materiales parqueo

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Subtotal
6	LÁMPARA DE MERCURIO	Q 332,70	Q 1.996,20
5	POSTE DE CONCRETO 30 PIES	Q 1.600,00	Q 8.000,00
5	RACK PARA UN AISLADOR 53-2	Q 14,84	Q 74,20
5	AISLADOR DE CARRETE 3" PORCELANA GRIS 53-2	Q 5,19	Q 25,95
125	CABLE TRIPLE # 2	Q 18,83	Q 2.353,75
TOTAL			Q 12.450,10

Tabla XXIX. Costo de materiales varios

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Subtotal
3	BARRA DE COBRE 5/8"X8	Q 50,40	Q 151,20
3	MORDAZA DE 5/8"	Q 3,96	Q 11,88
200	CABLE DESNUDO # 2	Q 19,31	Q 3.862,00
4	PARARRAYOS	Q 1.350,00	Q 5.400,00
8	TUBO PVC ELÉCTRICO DE ½ PULG.	Q 8,00	Q 64,00
TOTAL			Q 9.489,08

Tabla XXX. Costo de materiales primer nivel

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Subtotal
1	TABLEROS DE 30 POLOS TRIFÁSICO	Q 815,06	Q 815,06
9,5	ROLLOS DE ALAMBRE TW #14	Q 124,00	Q 1.178,00
16	ROLLOS DE ALAMBRE TW # 12	Q 184,00	Q 2.944,00
3,5	ROLLOS DE ALAMBRE TW # 10	Q 291,00	Q 1.018,50
3,5	ROLLOS DE CABLE TW # 8	Q 521,60	Q 1.825,60
2	ROLLOS DE CABLE TW # 6	Q 749,00	Q 1.498,00
700	METROS DE CABLE 4/0	Q 58,40	Q 40.880,00
117	CANAL ELÉCTRICA 4"X4"	Q 124,00	Q 14.508,00
505	LÁMPARAS 2X40 RS LISTON	Q 101,24	Q 51.126,20
3	TABLEROS 102 G,E	Q 53,54	Q 160,62
1	TABLERO 104 G,E	Q 150,00	Q 150,00
5	TABLEROS 101	Q 25,00	Q 125,00
3	FLIPONES G,E, 1X40 A,	Q 21,04	Q 63,12
1	FLIPON G,E, 2X40 A,	Q 190,73	Q 190,73
8	FLIPONES G,E, 1X30 A,	Q 21,04	Q 168,32
1	FLIPON G,E, 3X30 A,	Q 265,73	Q 265,73
6	FLIPONES G,E, 1X15 A,	Q 21,04	Q 126,24
140	TOMACORRIENTES POLARIZADO	Q 11,70	Q 1.638,00
70	PLACAS DE DOS AGUJEROS C/U	Q 8,60	Q 602,00
20	SWITCH SIMPLES TICINO	Q 10,10	Q 202,00
12	SWITCH 3W TICINO	Q 11,91	Q 142,92
26	PLACAS DE UN AGUJERO C/U	Q 8,60	Q 223,60
500	CAJAS OCTAGONALES ½ & ¾ T,M	Q 2,43	Q 1.215,00
80	CAJAS RECTANGULARES ½ & ¾ T,M	Q 2,10	Q 168,00
276	TUBOS DUCTO DE ½ PULG,	Q 11,60	Q 3.201,60
150	COPLAS DUCTO DE ½ PULG,	Q 1,06	Q 159,00
17	CINTAS DE AISLAR SCOTCH 33	Q 17,61	Q 299,37
TOTAL			Q 124.079,55

Tabla XXXI. Costo de materiales segundo nivel

Cantidad	Descripción	Precio por unidad	Subtotal
1	TABLEROS DE 30 POLOS TRIFÁSICO	Q 815,06	Q 815,06
1	ROLLO DE ALAMBRE TW # 14	Q 124,00	Q 124,00
28	ROLLOS DE ALAMBRE TW # 12	Q 184,80	Q 5.174,40
7	ROLLOS DE ALAMBRE TW # 10	Q 291,20	Q 2.038,40
4	ROLLOS DE CABLE TW # 8	Q 521,60	Q 2.086,40
3	FLIPONES G.E DE 1 X 15 A.	Q 21,04	Q 63,12
16	FLIPONES G.E DE 1 X 20 A.	Q 21,04	Q 336,64
1	FLIPON G.E DE 1 X 30 A.	Q 21,04	Q 21,04
117	CAJAS RECTANGULARES ½ & ¾ T.M	Q 2,10	Q 245,70
170	TOMACORRIENTES POLARIZADO	Q 11,70	Q 1.989,00
32	SWITCH SIMPLE TICINO	Q 10,10	Q 323,20
32	PLACAS DE UN AGUJERO C/U	Q 8,60	Q 275,20
85	PLACAS DE DOS AGUJEROS C/U	Q 8,60	Q 731,00
2	LÁMPARAS DE EMERGENCIA LT	Q 496,00	Q 992,00
38	LÁMPARAS FLUOR. 2X40 U C/DIF	Q 349,50	Q 13.281,00
280	TUBO DUCTO DE ½ PULG.	Q 11,06	Q 3.096,80
1500	CONECTORES DUCTO ½ PULG.	Q 1,05	Q 1.575,00
200	COPLAS DUCTO ½ PULG.	Q 1,06	Q 212,00
TOTAL			Q 33.379,96

El costo total de los materiales a utilizar haciende a la cantidad de Q179,398.69 .

Para determinar el costo de mano de obra, se calculará dicho costo como el 40% del costo total de los materiales, esto se hace debido a normas o políticas que manejan las empresas que se dedican a este tipo de instalaciones. De esta forma tendremos que el costo total de mano de obra será de Q71,759.48 .

Por lo tanto el costo total de la implementación de las modificaciones haciende a la cantidad de Q 251,158.17.

Es importante señalar que la implementación del proyecto será de beneficio para la facultad de derecho, ya que aumentará la vida útil del edificio, el cual contará con un sistema eléctrico seguro y eficiente; beneficiándose igualmente todo el personal administrativo que labora en el edificio así como los estudiantes que lo utilizan.

CONCLUSIONES

1. Las modificaciones realizadas a la instalación eléctrica del edificio según se observó, se implementaron sin realizarse estudios previos de ingeniería, lo que ha provocado entre otras cosas, desbalance de carga en las líneas y disminución del factor de potencia.
2. El rediseño de las instalaciones demostró que, a excepción del sistema de canalizaciones, los demás elementos de red eléctrica deben ser modificados para garantizar la continuidad del servicio, prolongación de la vida útil de la instalación y brindar seguridad y protección al equipo conectado a la instalación y personal que lo opera. Se determinó además, que el nivel de iluminación en los diferentes ambientes del edificio es deficiente, por lo que el diseño propuesto toma en cuenta niveles recomendados de iluminación que garantizan un ambiente cómodo que evitan fatiga visual y deslumbramiento.
3. Actualmente, la demanda de potencia máxima del edificio no cumple con el valor establecido como requisito por la AMM, para poder formar parte del Mercado Mayorista como Gran Usuario.
4. La distorsión armónica en el edificio se encuentra dentro del límite de tolerancia establecido por las NTSD, por lo que no afecta la calidad de energía con que se cuenta.

RECOMENDACIONES

1. Implementar los cambios sugeridos en el capítulo siete, de acuerdo con el rediseño del sistema eléctrico planteado, dando prioridad al dimensionamiento de los conductores, ya que una falla de los mismos puede provocar accidentes lamentables y daño a los equipos conectados a ellos. En el caso de los circuitos derivados que requieran una calibre de conductor superior al 10 AWG, lo ideal es dividir la carga conectada a este circuito en dos partes iguales para poderlas alimentar con conductores calibre 12 AWG.
2. La remodelación del sistema de iluminación de los salones de clase y oficinas, debe tener prioridad sobre la de los demás ambientes, ya que esta áreas es donde las personas permanecen la mayor parte del tiempo, por lo que debe garantizárseles niveles adecuados de iluminación que le permitan realizar sus actividades de manera eficiente.
3. Estar atento a lo que determine en el futuro el Ministerio de Energía y Minas respecto al valor de demanda de potencia máxima que se establezca como requisito para poder ingresar al Mercado Mayorista como Gran Usuario, y evaluar la incorporación del edificio S-7 al mismo.
4. Mientras no se forme parte del Mercado Mayorista como Gran Usuario, debe realizarse una evaluación de la calidad de energía por lo menos cada seis meses, para garantizar que se cuenta con un servicio de calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bratu Serbán, Neagu y Eduardo Campero Littlewood. **Instalaciones eléctricas. Conceptos básicos y diseño.** 2^a ed. México: Alfaomega, 1994. 240 pp.
2. **Manual del alumbrado.** Westinghouse. 3^a ed. México: Dossat. S.A., 1985.
3. **Manual eléctrico.** Phelps dodge de Centro America S.A. 2^a. ed. México: Proyección Publicitaria S.A., 1974.
4. Mendez Celiz, Luis Alfonso. Guía para el diseño de instalaciones eléctricas. Tesis Ing. Mecánico Electricista. Guatemala, universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1992. 92 pp.
5. **Normas para acometidas de servicio eléctrico.** 11^{va} ed. Guatemala: Empresa eléctrica de Guatemala S.A., 1994. 122 pp.

ANEXO A

Tabla A-1. Área transversal de conductores

Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal			Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal	
	CM	mm ²			CM	mm ²
14	4110	2,1		350		177,0
12	6530	3,3		400		203,0
10	10380	5,3		450		228,0
8	16510	8,4		500		253,0
6	26240	13,3		550		279,0
4	41740	21,2		600		304,0
2	66360	33,6		650		329,0
1/0	105600	53,5		700		355,0
2/0	133100	67,4		750		380,0
3/0	167800	85,0		800		405,0
4/0	211600	107,2		900		456,0
250		127,0		1000		507,0
300		152,0				

Fuente: Luis Alfonso Mendez, **Guía para el diseño de instalaciones eléctricas**. Pág. 12.

Tabla A-2. Capacidad de conducción de conductores

Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)			Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)	
	60 °C	75 °C			60 °C	75 °C
	TW	THW			TW	THW
14	20	20		250	215	255
12	25	25		300	240	285
10	30	35		350	260	310
8	40	50		400	280	335
6	55	65		500	320	380
4	70	85		600	355	420
2	95	115		700	385	460
1/0	125	150		750	400	475
2/0	145	175		800	410	490
3/0	165	200		900	435	520
4/0	195	230		1000	455	545

Fuente: Phelps dodge, **Manual eléctrico**. Pág. 131.

Tabla A-3. Tolerancia Admisible respecto del valor nominal de tensión en porcentaje

Tensión	Etapa					
	Transición		Régimen A partir del mes 1 hasta el mes 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	7		6		5	

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, NTSD.

Tabla A-4. Tolerancia para la distorsión armónica de tensión

Orden de la armónica (n)	Distorsión armónica individual de tensión, DAIT (%)	
	Baja y media tensión $V \leq 60KV$	Alta tensión $60KV < V \leq 230KV$
Impares no múltiplos de 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
>25	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2
Pares		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
>12	0.2	0.2
DATT (%)	8.0	3.0

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, NTSD.

Tabla A-5. Desbalance de tensión en porcentaje

Tensión	Desbalance de tensión, Δ DTD, en %
	Etapas de régimen, a partir del mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Normas Técnicas del servicio de distribución

Tabla A-6. Propiedades del material aislante en conductores

Material aislante	Tipo	Temperatura máxima °C	Cubierta	Utilización
Hule resist. al calor	RH	75	Resistente a la humedad, retardadora de flama	Locales secos
Hule resist. al calor	RHH	90		Locales secos y húmedos
Hule resist. al calor y humedad	RHW	75		Locales secos
Termoplástico	T	60	Ninguna	Locales secos y húmedos
Termoplástico resist. humedad	TW	60		Locales secos
Termoplástico resist. al calor y humedad	THW	75		Locales secos y húmedos

Fuente: Luis Alfonso Mendez, **Guía para el diseño de instalaciones eléctricas**. Pág. 13.

Tabla A-7. Factores de corrección por temperatura y cantidad de conductores

Temperatura ambiente °C	Factor de corrección		Número de Conductores	Factor de reducción de capacidad de conducción
	TW	THW		
21 – 25	1.08	1.05	4 a 6	80%
26 – 30	1.00	1.00	7 a 24	70%
31 – 35	0.91	0.94	25 a 42	60%
36 – 40	0.82	0.88	arriba 43	50%
41 – 45	0.71	0.82		
46 – 50	0.58	0.75		
51 – 55	0.41	0.67		
56 – 60	-	0.58		
61 – 70	-	0.33		
71 – 80	-	-		

Fuente: Luis Alfonso Mendez, **Guía para el diseño de instalaciones eléctricas**. Pág. 21.

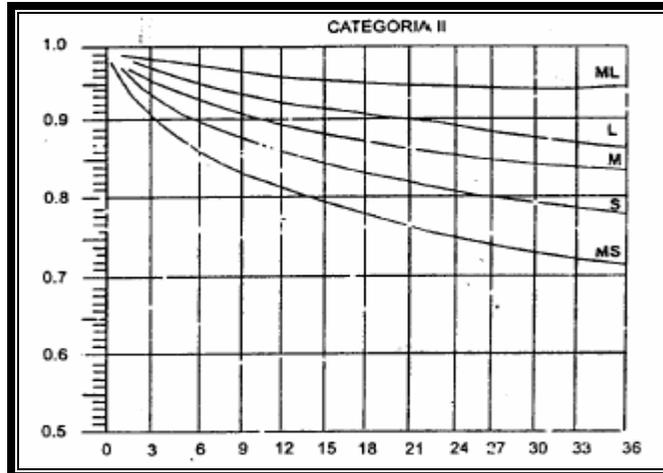
Tabla A-8. Distribución típica aceptable de alumbrado

Datos de las lámparas de mercurio		Datos del poste		Colocación	Separación (m)	Iluminación (lux)	
Designación	Emisión luminosa (lúmenes)	Altura de montaje (m)	Longitud del brazo (m)			Media	Mínima
H39-22KB 175 W Clara	7700	9	1,2	A un solo lado	28	9	3,6
H37-5KB 250 W Clara	12100	9	1,2	A un solo lado	41	9	4,9
H33-1CD 400 W Clara	21000	9	1,2	A un solo lado	30	22	7,1
H33-1CD 400 W Clara	21000	9	1,2	Al tresbolillo	45	14,1	4,7
H35-18NA 700 W Clara	39000	10,5	1,2	A un solo lado	60	15	5,1
H35-18NA 700 W Clara	39000	10,5	1,2	Al tresbolillo	63	14,7	4,9

Fuente: Westinghouse, **Manual de alumbrado**.

ANEXO B

Figura B-1. Curvas de degradación por suciedad en el luminario



Fuente: Sylvania, **Calculo de Proyectos de Iluminación.**

Figura B-2. Coeficientes de utilización

Tipo de luminario	Distribución típica y % de lumens de la lámpara		Acc ¹ →		80			70			50			30			10			
	Cat. de espaciamiento Máx.	Relación Máxima S/MH	RCR ↓		30	50	10	30	30	10	30	30	10	30	30	10	30	30	10	
			Coeficiente de utilización para 20% de reflectancia efectiva de piso (p _{ef} = 20)																	
 <p>Reflector acabado, pintura porcelanizada con lámpara fluorescente, reflector 14° C.W.</p>	III	1.3	0	1.00	1.00	1.00	.96	.96	.96	.89	.89	.89	.82	.82	.82	.74	.74	.74		
			1	.88	.83	.82	.84	.82	.79	.77	.74	.73	.72	.70	.68	.67	.66	.64	.63	.62
			2	.78	.72	.67	.73	.70	.66	.70	.66	.64	.63	.62	.59	.58	.57	.54	.53	.52
			3	.70	.62	.57	.65	.60	.58	.62	.57	.53	.58	.54	.51	.51	.51	.48	.47	.46
			4	.61	.54	.48	.57	.52	.47	.55	.50	.45	.50	.47	.43	.43	.43	.40	.40	.39
			5	.54	.46	.41	.52	.45	.43	.49	.43	.39	.46	.41	.37	.37	.37	.34	.34	.33
			6	.48	.41	.35	.47	.40	.35	.44	.38	.34	.41	.36	.32	.32	.32	.29	.29	.28
			7	.41	.34	.28	.42	.33	.30	.40	.31	.29	.37	.32	.28	.28	.28	.25	.25	.24
			8	.36	.27	.27	.38	.31	.26	.36	.30	.25	.34	.28	.24	.24	.24	.21	.21	.20
			9	.31	.23	.23	.34	.27	.22	.32	.24	.22	.30	.25	.21	.21	.21	.18	.18	.17
10	.27	.21	.20	.31	.24	.20	.29	.23	.19	.27	.22	.18	.18	.18	.15	.15	.14			

¹ p_{ef} = % de reflectancia efectiva de cavidad de techo.
² p_w = % de reflectancia de paredes.
³ RCR = Relación de cavidad de techo.
⁴ Máximo espaciamiento S/MH = Relación de espaciamiento máxima del luminario a altura de montaje.
 Fuente: IES Handbook.

Fuente: Sylvania, **Calculo de Proyectos de Iluminación**