



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

## **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-8 Y T-9 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes**  
Asesorado por el Ing. Ernesto Roberto Vega Soto

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL  
EDIFICIO S-8 Y T-9 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

**CARLOS ALBERTO FERNANDO NAVARRO FUENTES**  
ASESORADO POR EL INGENIERO ERNESTO ROBERTO VEGA SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

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	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ESTUDIO ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO S-8 Y T-9 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, el 12 de agosto de 2005.

Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes

## **AGRADECIMIENTO A:**

- DIOS** Por la fuente de sabiduría que con su luz divina iluminó mi vida educativa.
- DON BOSCO** Personaje que con su espíritu de juventud me ha enseñado a encontrarle sentido al estudio y a mi vida.
- MI MADRE** Gladis Beatriz Fuentes Ramírez  
Como muestra de agradecimiento por brindarme el apoyo moral, económico y sus múltiples esfuerzos para mi superación, y brindarme la mejor herencia en mi vida.
- MI PADRE (Q. E. P. D)** Ervin Bernabé Navarro Orozco  
Por darme la introducción de sus consejos que han sido útiles en mi proceso de vida educativa.
- MIS HERMANOS** Ingrid, Eloisa y Gabriel, con cariño, por su respeto y admiración y los múltiples consejos que me han dado

**MI NOVIA**

Jalmy Raquel Lara Girón

Con cariño, por su respeto y admiración, su constante apoyo moral y múltiples consejos que me ha dado.

**MIS TÍOS**

Vilder Nery Navarro Aguilar

Esvinda Lisbeth Fuentes Ramírez

Por su apoyo constante

**MI ASESOR**

Ing. Ernesto Roberto Vega Soto.

Gratitud sincero por el apoyo brindado

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XXV</b>
<b>1 GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES</b>	
<b>ELÉCTRICAS .....</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de instalación eléctrica .....	1
1.2 Objetivo de una instalación eléctrica.....	1
1.2.1 Seguridad contra accidentes e incendios .....	2
1.2.2 Eficiencia y economía.....	2
1.2.3 Viabilidad y distribución .....	2
1.2.4 Mantenimiento .....	2
1.3 Elementos de una instalación eléctrica .....	3
1.3.1 Conductores eléctricos .....	3
1.3.1.1 Calibre de conductores.....	6
1.3.1.2 Amperaje .....	8
1.3.1.3 Temperatura del conductor y temperatura del aire.....	8
1.3.1.4 Conductores eléctricos de baja tensión.....	9
1.3.2 Canalizaciones eléctricas .....	11
1.3.2.1 Tubo Conduit.....	11
1.3.2.1.1 Tubo de acero galvanizado de pared gruesa.....	11

1.3.2.1.2	Tubo de acero galvanizado de pared delgada.....	11
1.3.2.1.3	Tubo de acero esmaltado .....	12
1.3.2.1.4	Tubo de aluminio .....	12
1.3.2.1.5	Tubo flexible .....	12
1.3.2.1.6	Tubo plástico flexible .....	12
1.3.2.1.7	Ductos .....	13
1.3.3	Conectores para canalización eléctrica.....	13
1.3.3.1	Condulets.....	14
1.3.3.2	Cajas de conexión.....	14
1.3.4	Accesorios adicionales.....	15
1.3.4.1	Luminarias.....	16
1.3.4.1.1	Alumbrado incandescente .....	16
1.3.4.1.2	Lámparas de descarga .....	17
1.3.4.1.2.1	Arrancador.....	19
1.3.4.1.2.2	Reactor .....	20
1.3.4.2	Interruptores.....	20
1.3.4.2.1	Interruptor de tres vías.....	21
1.3.4.2.2	Interruptor de cuatro vías.....	21
1.3.4.2.3	Accesibilidad.....	22
1.3.4.2.4	Montaje de interruptores .....	22
1.3.4.3	Tomacorrientes .....	23
1.3.5	Dispositivos de protección.....	24
1.3.5.1	Tableros de distribución y protecciones .....	25
1.3.5.2	Clasificación de los tableros de protección .....	26
1.3.5.3	Tipos de dispositivos de protección .....	28
1.3.5.3.1	Relevadores.....	28
1.3.5.3.2	Fusibles .....	28
1.3.5.3.3	Interruptores .....	29

<b>2</b>	<b>DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES .....</b>	<b>31</b>
2.1	Instalaciones .....	31
2.1.1	Caracterización de carga.....	31
2.1.2	Estado actual y dimensionamiento de conductores.....	32
2.1.2.1	Edificio S8 .....	32
2.1.2.2	Edificio T9.....	34
2.1.3	Tuberías .....	38
2.1.3.1	Edificio S8 .....	38
2.1.3.2	Edificio T9.....	38
2.1.4	Protección.....	39
2.1.4.1	Prueba de disparo .....	39
2.1.4.1.1	Prueba de corto circuito térmico .....	39
2.1.4.1.2	Prueba de disparo magnético .....	40
2.1.5	Tableros.....	41
2.1.5.1	Condición actual .....	41
<b>3</b>	<b>DIAGRAMAS UNIFILARES.....</b>	<b>43</b>
3.1	Diagrama unifilar de la red eléctrica general .....	44
3.2	Diagrama unifilar de la sub-red eléctrica.....	47
3.2.1	Edificio S8.....	47
3.2.2	Edificio T9 .....	53
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES.....</b>	<b>61</b>
4.1	Cálculo de conductores y protecciones.....	61
4.1.1	Cálculo de conductores por caída de voltaje .....	61
4.1.1.1	Cálculo de conductores y protección de conexiones especiales.....	71

4.2	Cálculo de subtableros .....	72
4.3	Cálculo de conductor principal y flipón general.....	76

## **5 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA Y ARMÓNICOS DEL LOS EDIFICIOS S-8 Y T-9 DEL CAMPUS CENTRAL ... 77**

5.1	Calidad de energía.....	77
5.1.1	Disturbios en el sistema. ....	78
5.1.2	Disturbios por sobretensiones transitorias .....	78
5.1.3	Disturbios por bajo voltaje momentáneo .....	79
5.1.4	Interrupciones de servicio .....	79
5.1.5	Normas aplicables a la calidad de energía.....	79
5.2	Armónicos.....	81
5.2.1	La importancia de los armónicos, en los sistemas actuales.....	82
5.2.2	Los efectos de los armónicos.....	85
5.2.3	Las fuentes de armónicos .....	86
5.2.4	IEEE 519.....	87
5.2.5	Factor K.....	90
5.3	Instrumento utilizado para la medición de la calidad de energía y armónicos .....	93
5.3.1	Analizadores de red AR.5 .....	93
5.3.2	Programas de medida.....	94
5.3.2.1	Programa de medida estándar.....	94
5.3.3	Programa de medida de armónicos .....	95
5.3.4	Software para el análisis de redes eléctricas .....	96
5.3.5	Funciones básica del software AR.5-VISIÓN.....	97
5.3.6	Características técnicas del AR.5.....	97
5.4	Mediciones edificio S8 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	98
5.4.1	Desarrollo del proyecto .....	98

5.4.2	Resultados.....	99
5.4.2.1	Análisis de regulación y desbalance de voltaje .....	99
5.4.2.2	Análisis de desbalance de corriente .....	100
5.4.2.3	Análisis de la potencia activa .....	101
5.4.2.4	Análisis de la potencia reactiva .....	103
5.4.2.5	Análisis de la potencia trifásica y factor de potencia .....	104
5.4.2.6	Consumo de energía .....	106
5.4.2.7	Análisis de armónicos.....	107
5.4.2.8	Conclusiones .....	109
5.4.2.9	Recomendaciones.....	109
5.5	Mediciones edificio T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala .....	110
5.5.1	Desarrollo del proyecto.....	110
5.5.2	Resultados.....	111
5.5.2.1	Análisis de regulación y desbalance de voltaje .....	111
5.5.2.2	Análisis de desbalance de corriente .....	112
5.5.2.3	Análisis de la potencia activa .....	113
5.5.2.4	Análisis de la potencia reactiva .....	115
5.5.2.5	Análisis de la potencia trifásica y factor de potencia .....	116
5.5.2.6	Consumo de energía .....	118
5.5.2.7	Análisis de armónicos.....	119
5.5.2.8	Conclusiones .....	121
5.5.2.9	Recomendaciones.....	121
<b>6</b>	<b>GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>123</b>
6.1	Conceptos básicos.....	123
6.1.1	Puesta a tierra .....	124
6.1.2	Resistividad eléctrica de los suelos .....	125

6.1.3	Factores que influyen en la resistividad del terreno .....	129
6.1.3.1	Naturaleza del terreno.....	130
6.1.3.2	Estratigrafía.....	132
6.1.3.3	Humedad .....	133
6.1.3.4	Temperatura.....	134
6.1.3.5	Salinidad .....	135
6.1.3.6	Variaciones estacionales .....	136
6.1.4	El suelo .....	136
6.1.5	Tomas de tierra .....	137
6.1.5.1	Electrodos de puesta a tierra .....	137
6.1.5.2	Líneas de enlace con tierra.....	138
6.1.5.3	Puntos de puesta a tierra .....	139
6.1.6	Línea principal de tierra.....	139
6.1.7	Derivaciones de la línea principal de tierra.....	140
6.1.8	Conductores de protección .....	140
6.2	Materiales de puesta a tierra .....	141
6.2.1	Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra .....	141
6.2.2	Conductores de protección .....	144
6.2.2.1	Tipos de conductores de protección .....	144
6.2.2.2	Sección de los conductores de protección.....	145
6.2.3	Tomacorrientes con SPT para uso domestico y uso general similar.	146
6.2.4	Clases de electrodos .....	147
6.2.4.1	Electrodo de varilla de acero, recubierto con cobre .....	148
6.2.4.2	Estructura metálica del edificio.....	149
6.2.4.3	Electrodos de concreto armado .....	149
6.2.4.4	Anillo de tierra .....	150
6.2.5	Electrodos de puesta a tierra especialmente construidos .....	151
6.2.5.1	Electrodos de varilla o tubería.....	151
6.2.6	Accesorios.....	153

6.2.6.1	Conectores .....	153
6.2.6.2	Registros .....	155
6.2.7	Mejoramiento de la resistencia a tierra .....	156
6.2.7.1	Varillas de mayor diámetro .....	157
6.2.7.2	Varillas más largas .....	157
6.2.7.3	Varillas en paralelo .....	158
6.3	Propósito y tipos de sistemas de puesta a tierra .....	160
6.3.1	Objeto de las Puestas a Tierra .....	160
6.3.1.1	Unión sólida entre un sistema eléctrico y la tierra .....	161
6.3.1.2	Control de potenciales anormales en el suelo .....	162
6.3.1.3	Circulación de corrientes anormales .....	163
6.3.2	Tipos de sistemas de puesta a tierra .....	165
6.3.2.1	Tierra de protección.....	165
6.3.2.2	Tierra de servicio .....	166
6.3.2.3	Mallas a tierra .....	166
6.3.3	Clasificación de los SPT, según su aplicación.....	167
6.3.3.1	SPT para instalaciones eléctricas.....	167
6.3.3.2	SPT para equipos eléctricos.....	168
6.3.3.3	SPT en señales electrónicas .....	168
6.3.3.4	SPT de protección electrónica.....	168
6.3.3.5	SPT para protección atmosférica .....	169
6.3.3.6	SPT para protección electrostática.....	169
6.4	Instalaciones y equipos que deben conectarse a tierra .....	169
6.4.1	SPT de instalaciones eléctricas.....	171
6.4.1.1	Tipos de instalaciones que requieren un SPT .....	171
6.4.1.2	Tipos de instalaciones en c.a. que no necesitan estar aterrizados solidamente .....	171
6.4.1.3	Conductores a aterrizarse .....	172
6.4.1.4	Instalaciones de comunicaciones y canalizaciones para sistemas	

de cómputo.....	173
6.4.1.5 Consideraciones para un buen diseño de sistema de puesta a tierra de equipos eléctricos.....	174
6.5 Equipo de medición .....	175
6.5.1 Principio de operación del Eecos Modelo 2300 .....	176
6.5.2 Método del 62% .....	176
6.6 Sistemas de tierra de los edificios S8 y T9 .....	182
6.6.1 Proceso del conector soldable exotérmico.....	182
6.6.1.1 Ventajas de los conectores soldables exotérmicos.....	183
6.6.2 Intensificador GAP .....	184
6.6.2.1 Ventajas .....	185
6.6.2.2 Resistencia eléctrica del GAP .....	185
6.6.3 red de tierra edificio S8 y T9 .....	186
6.6.4 Configuración de la red de tierra física.....	188
6.6.5 Detalles de la configuración de la red de tierra .....	189
6.6.6 Unifilar del SPT .....	190
6.6.7 Listado de materiales y herramienta del SPTde los edificios (S8 T9)	190
<b>7 EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL EDIFICIO S8 Y T9 AL MERCADO MAYORISTA .....</b>	<b>193</b>
7.1 Requisitos para la incorporación al mercado mayorista.....	193
7.2 Factibilidad de incorporar el edificio S8 y T9 al mercado mayorista .....	195
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>197</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>199</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>203</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Conductancias de diferentes metales .....	4
2. Conductancias relativas de diferentes metales.....	5
3. Calibre de conductores, designación AWG .....	7
4. Calibrador o galga para conductores eléctricos.....	8
5. Condulets.....	14
7. Lámpara de descarga .....	18
8. Arrancador .....	19
9. Interruptor Monopolar .....	21
10. Tomacorrientes .....	23
11. Tomacorriente de intemperie .....	24
12. Interruptor de cuchilla con protección de fusible .....	25
13. Tipos de tableros de protección .....	27
14. Pruebas de disparo de corto circuito térmico y disparo magnético .....	40
15. Símbolos estándar para los diagramas eléctricos.....	44
16. Diagrama unifilar visto desde la entrada del periférico .....	45
17. Diagrama unifilar visto desde la entrada de la Avenida Petapa .....	46
18. Diagrama unifilar acometida principal edificio S8.....	48
19. Diagrama unifilar tablero de distribución A edificio S8 .....	49
20. Diagrama unifilar tablero de distribución B edificio S8 .....	50
21. Diagrama unifilar tablero de distribución C edificio S8.....	51
22. Diagrama unifilar tablero de distribución D edificio S8.....	51
23. Diagrama unifilar acometida principal edificio T9.....	54
24. Diagrama unifilar del tercer nivel del edificio T9.....	55

25. Diagrama Unifilar del tercer nivel edificio T9 .....	56
26. Diagrama Unifilar del centro de computo de la unidad de sistema de información geográfica .....	57
27. Diagrama Unifilar del segundo nivel edificio T9.....	58
28. Diagrama Unifilar del primer nivel edificio T9 .....	59
29. Diagrama Fasorial .....	62
30. Tensión de fases L1, L2 y L3 del edificio S8 .....	99
31. Tensión trifásica del edificio S8 .....	100
32. Intensidad de L1, L2 y L3 del edificio S8 .....	101
33. Potencia activa de las fases L1, L2 y L3 del edificio S8 .....	102
34. Potencia activa trifásica del edificio S8.....	102
35. Potencia inductiva de L1, L2 y L3 del edificio S8.....	103
36. Potencia trifásica inductiva del edificio S8.....	104
37. Potencia activa y potencia reactiva trifásica del edificio S8.....	105
38. Factor de potencia del edificio S8.....	106
39. Energía activa y reactiva del edificio S8.....	107
40. Forma de Onda del edificio S8 .....	108
41. Tasa de distorsión armónica del edificio S8 .....	108
42. Tensión de fases L1, L2 y L3 del edificio T9.....	111
43. Tensión trifásica del edificio T9 .....	112
44. Intensidad de L1, L2 y L3 del edificio T9 .....	113
45. Potencia activa de las fases L1, L2 y L3 del edificio T9 .....	114
46. Potencia activa trifásica del edificio T9.....	114
47. Potencia inductiva de L1, L2 y L3 del edificio T9.....	115
48. Potencia trifásica inductiva del edificio T9 .....	116
49. Potencia activa y potencia reactiva trifásica del edificio T9 .....	117
50. Factor de potencia del edificio T9.....	118
51. Energía activa y reactiva del edificio T9 .....	119
52. Forma de Onda del edificio T9 .....	120

53. Tasa de distorsión armónica del edificio T9.....	120
54. Modelo analítico de suelo conductor de resistividad ( $\Delta\rho$ ) homogénea .....	126
55. Perfil geográfico del suelo.....	132
56. Varilla electroquímica.....	142
57. Zanja alrededor del electrodo de tierra con compuestos químicos que mejoran la resistividad .....	143
58. Tomacorriente con protección a tierra o polarizado .....	146
59. Formas en las que se puede enterrar un electrodo en la tierra.....	152
60. Conectores eléctricos .....	154
61. Los conectores unen los conductores con los electrodos del SPT .....	154
62. Ejemplo de un SPT con su registro.....	156
63. Relación entre el diámetro de la varilla y la resistencia de tierra .....	157
64. Variación de la resistencia con la profundidad, para un electrodo de 1.02 plg de diámetro en suelo muy húmedo .....	158
65. Porcentaje de conductividad de electrodos de tierra en paralelo en un área de electrodos aislados .....	159
66. Protección en caso de energización de las masas .....	161
67. Potenciales peligrosos de toque y de paso en subestación de media y baja tensión.....	162
68. Conexión de cargas en sistemas estrella con neutro a tierra.....	163
69. Conexión de cargas en sistema delta o estrella sin neutro a tierra.....	164
70. Dispersión de corrientes a frecuencia industrial en el suelo hemisferios concéntricos.....	165
71. Se deben colocar canalizaciones y cajas independientes para las computadoras .....	173
72. Instrumento de medición de tierra física EECOS modelo 2300 .....	175
73. Descripción gráfica de cómo utilizar el medidor EECOS modelo 2300.....	176
74. Descripción gráfica del Método del 62%.....	177
75. Áreas de disimulación de las áreas de influencia de los electrodos P y C	

respecto a E .....	178
76. Áreas de no disimulación de las áreas de influencia de los electrodos P y C respecto a E .....	179
77. Proceso del conector soldable exotérmico .....	183
78. Rangos de resistencia de diferentes productos .....	186
79. Diseño de red de tierras edificio S8 y T9 .....	187
80. Detalle 1 y detalle 2 de la configuración de tierra .....	188
81. Detalle 1 y detalle 2 del SPT .....	189
82. Introducción de la red de tierras al tablero principal de los edificios S8 y T9.....	190

## TABLAS

I.	Clasificación de los conductores eléctricos y tipos de aislamientos ....	10
II.	Tablero de distribución A del primer nivel edificio S8 .....	32
III.	Tablero de distribución B del primer nivel edificio S8 .....	33
IV.	Tablero de distribución C del segundo nivel edificio S8 .....	33
V.	Tablero de distribución D del segundo nivel edificio S8 .....	34
VI.	Tablero de distribución primer nivel edificio T9 .....	35
VII.	Tablero de distribución segundo nivel edificio T9.....	36
VIII.	Tablero de distribución tercer nivel edificio T9 .....	37
IX.	Descripción del diámetro de tubería utilizado en el edificio S8 .....	38
X.	Descripción del diámetro de tubería utilizado en el edificio S8 .....	38
XI.	Valores de Regulación de voltaje .....	62
XII.	Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del primer nivel edificio S8 .....	66
XIII.	Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del segundo nivel edificio S8.....	67

XIV.	Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del primer nivel edificio T9.....	68
XV.	Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del segundo nivel edificio T9.....	69
XVI.	Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del tercer nivel edificio T9.....	70
XVII.	Conductor y protección de circuito de iluminación externa.....	71
XVIII.	Conductor y protección de circuito bomba de agua.....	72
XIX.	Factores de demanda.....	73
XX.	Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, primer nivel S8 .....	73
XXI.	Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, segundo nivel S8.....	74
XXII.	Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, primer nivel T9 .....	74
XXIII.	Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, segundo nivel T9.....	75
XXIV.	Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, tercer nivel T9 .....	75
XXV.	Análisis del conductor principal y flipón general edificio S8.....	76
XXVI.	Análisis del conductor principal y flipón general edificio T9.....	76
XXVII.	IEEE 519 Límites en la distorsión de la corriente. ....	89
XXVIII.	Factor K.....	92
XXIX.	Resistividades referenciales de suelos naturales genéricos.....	131
XXX.	Valores de referencia de la resistividad del agua según su procedencia .....	134

XXXI.	Distancia aproximada del electrodo auxiliar usando el método del 62%.....	180
XXXII.	Distancia del electrodo auxiliar usado el sistema de múltiples electrodos.....	181
XXXIII.	Listado de materiales y herramienta para la realización de un SPT.	191

## **GLOSARIO**

### **AISLANTE**

Un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente no permite sus desplazamientos y, por lo tanto, tampoco el paso de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de tensión entre dos puntos del mismo.

### **AMM:**

Administrador del Mercado Mayorista, se encarga de realizar un 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.

### **AMPERIO:**

Unidad de medida de la corriente eléctrica, que debe su nombre al físico francés André Marie Ampere, y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor. (1Amperio = 1 coulomb/segundo).

### **AMPERÍMETRO:**

Instrumento para medir corriente, con una aguja y un elemento móvil que desplaza una aguja.

<b>CABLE:</b>	Uno o más conductores reunidos, aislados o no entre sí.
<b>CIRCUITO:</b>	El lazo cerrado o camino por el que fluye una corriente eléctrica o un flujo magnético.
<b>CONDENSADOR:</b>	Elemento de un circuito cuya característica predominante es la CAPACIDAD y el cual almacena energía en su campo eléctrico.
<b>CONDUCTOR:</b>	Un material que ofrece una baja resistencia al paso de la corriente eléctrica.
<b>CORRIENTE:</b>	Un desplazamiento de cargas eléctricas medida en amperios.
<b>COMERCIALIZACIÓN:</b>	consiste en la venta, facturación y cobro por el servicio eléctrico prestado a los consumidores finales.
<b>CORTO CIRCUITO:</b>	Una conexión entre dos puntos de un circuito a través de una fuente de energía eléctrica, mediante un camino de baja resistencia.

- DAT:** La Distorsión Armónica Total es un parámetro técnico utilizado para definir la señal de audio que sale de un sistema.
- DIELÉCTRICO:** Elemento o material eléctrico que no deja pasar la corriente a través de su masa, por lo que se es llama, también, aisladores o aislantes eléctricos.
- EMPALME DE CABLE:** La conexión de un cable a otro de manera que la conductividad y el aislamiento en la unión sean de la misma calidad que la de los cables que intervienen.
- ENERGÍA:** La capacidad de un sistema para realizar un trabajo es medida en kilovatios. La energía lleva implícita el variable tiempo. Y se mide en kilovatios por hora (Kwh.) y la potencia (demanda) en kilovatios (Kw.).
- IEEE:** Corresponde a las siglas en ingles de *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

- INTERRUPTOR:** Aparato o sistema de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y/o cierre de un circuito eléctrico. Puede ser unipolar, bipolar, tripolar o tetrapolar.
- KILOWATT/HORA:** Una medida práctica de energía. Es la energía consumida en una hora cuando la potencia es de 1000 watt.
- NSTD:** Normas Técnicas de Servicio de Distribución
- PUNTO NEUTRO:** Es el punto de un sistema polifásico que en las condiciones de funcionamiento previstas, presenta la misma diferencia de potencial, con relación a cada uno de los polos o fases del sistema.
- SPT:** Sistema de puesta a tierra

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta$	Intervalo de cambio del valor de una variable
$\Omega$	Resistencia eléctrica en ohms
$\varphi$	Ángulo de desfase entre los valores efectivos de voltaje y corriente
$\infty$	Valor infinito
$\rho$	Resistividad eléctrica de un material
$\%$	Valor en Porcentaje



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se realiza un estudio eléctrico de las instalaciones del edificio S-8 y T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dicho análisis incluye una recopilación de información respecto de las características y estado de los elementos que componen la instalación.

Entre su análisis de estudio en cada edificio se realizó un análisis de la calidad de energía, donde se estudiaron los diferentes parámetros eléctricos como lo son el voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, energía activa, energía reactiva, agregando a ello un estudio muy importante sobre distorsión armónica, tema que no es tomado muy en cuenta en la actualidad, pero que tiene un efecto crucial en lo que respecta a la calidad de energía.

Por otro lado, se hace referencia en un capítulo lo importante que pueden ser la puesta a tierra de los equipos electrónicos con que cuenta cada edificio haciendo énfasis en su aplicación en los edificios ya que actualmente los dos edificios mencionados en este trabajo de graduación no cuentan con un sistema de puesta a tierra, lo que lo pone en riesgo la seguridad eléctrica del equipo electrónico conectado a la red.

Finalmente, se realizó una evaluación al edificio que permita establecer si cumple con los requerimientos establecidos por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) para que pueda ser incorporados individualmente o en su conjunto como grandes usuarios.

## **OBJETIVOS**

- **General**

Realizar un estudio eléctrico de las instalaciones del edificio S-8 y T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Y proponer las mejoras mediante un rediseño de dichas instalaciones eléctricas.

- **Específicos**

1. Diagnosticar y evaluar las instalaciones actuales del edificio S8 y T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Realizar cálculos teóricos de los diferentes componentes que conforman las instalaciones eléctricas del edificio S8 y T9 para que sirva de comparación con los instalados actualmente.
3. Determinar mediante un análisis calidad y energía eléctrica en los edificios parámetros eléctricos que puedan dar respuesta a la calida de energía de dichos edificios.
4. Determinar y presentar las soluciones a los problemas que se pudiesen encontrar al realizar el estudio.
5. Evaluar la posibilidad de incorporar al edificio S8 y T9 al Administrador de Mercado Mayorista (AMM) como gran usuario.



## INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la población estudiantil universitaria ha provocado que los edificios del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala hayan modificado su estructura eléctrica y aumentar su carga desproporcionalmente, provocando con esto, una posible mala calidad de la energía, saturación de los conductores y un desbalance de la corriente, añadido a esto también, es importante reconocer que el tiempo de las instalaciones eléctricas son estructuradas desde principios de su funcionamiento que no han sido modificadas en su totalidad y que en muchas de las instalaciones eléctricas existentes se hace necesario una modificación en la estructura completa.

En el presente trabajo se hace énfasis a la actualidad de las instalaciones su análisis teórico y sus posibles soluciones que puedan tener las mismas, presentando un rediseño de los principales elementos que componen la instalaciones eléctrica del edificio, cuya implementación permitirá tener una red eléctrica eficiente y segura, que además prolongará su vida útil.



# **1 GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

## **1.1 Definición de instalación eléctrica**

Se entiende por instalación eléctrica al conjunto integrado por canalizaciones, estructuras, conductores, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de energía eléctrica desde las centrales generadoras hasta el centro de consumo, para alimentar a las máquinas y aparatos que la demanden para su funcionamiento. Para que una instalación eléctrica sea considerada como segura y eficiente se requiere que los productos empleados en ella estén aprobados por las autoridades competentes, que esté diseñada para las tensiones nominales de operación, que los conductores y sus aislamientos cumplan con lo especificado, que se considere el uso que se dará a la instalación y el tipo de ambiente en que se encontrará.

## **1.2 Objetivo de una instalación eléctrica**

Puede decirse que el objetivo fundamental de una instalación eléctrica es el cumplir con los requerimientos planteados durante el proyecto de la misma, tendientes a proporcionar el servicio eficiente que satisfaga la demanda de los aparatos que deberán ser alimentados con energía eléctrica. Para dar apoyo a lo anteriormente citado tendrán que conjuntarse los factores siguientes:

### **1.2.1 Seguridad contra accidentes e incendios**

Ya que la presencia de la energía eléctrica significa un riesgo para el humano, se requiere suministrar la máxima seguridad posible para salvaguardar su integridad así como la de los bienes materiales.

### **1.2.2 Eficiencia y economía**

En este rubro deberá procurarse conciliar lo técnico con lo económico y es donde el proyectista deberá mostrar su ética profesional para no perjudicar al cliente.

### **1.2.3 Viabilidad y distribución**

Es necesario ubicar adecuadamente cada parte integrante de la instalación eléctrica, sin perder de vista la funcionalidad y la estética.

### **1.2.4 Mantenimiento**

Con el fin de que una instalación eléctrica aproveche al máximo su vida útil, resulta indispensable considerar una labor de mantenimiento preventivo adecuada.

### **1.3 Elementos de una instalación eléctrica**

Básicamente, en una instalación eléctrica intervienen como elementos principales para conducir, proteger y controlar tanto la energía eléctrica como los dispositivos receptores, los siguientes:

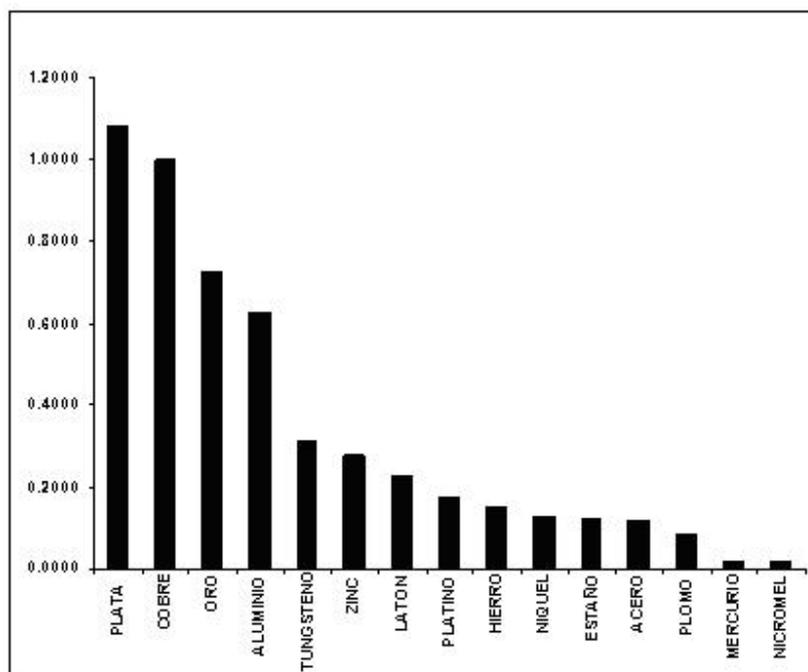
- Conductores eléctricos
- Canalizaciones eléctricas
- Conectores para canalizaciones eléctricas
- Accesorios adicionales
- Dispositivos de protección

#### **1.3.1 Conductores eléctricos**

Un conductor eléctrico es aquel material que ofrece poca resistencia al flujo de corriente eléctrica. Un buen conductor de electricidad, como la plata o el cobre, puede tener una conductividad mil millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica.

El fenómeno conocido como superconductividad se produce cuando al enfriar ciertas sustancias a una temperatura cercana al cero absoluto su conductividad se vuelve prácticamente infinita. En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

Figura 1. Conductancias de diferentes metales



Fuente: Harry Mileaf, **Electricidad**, Pág. 2-8

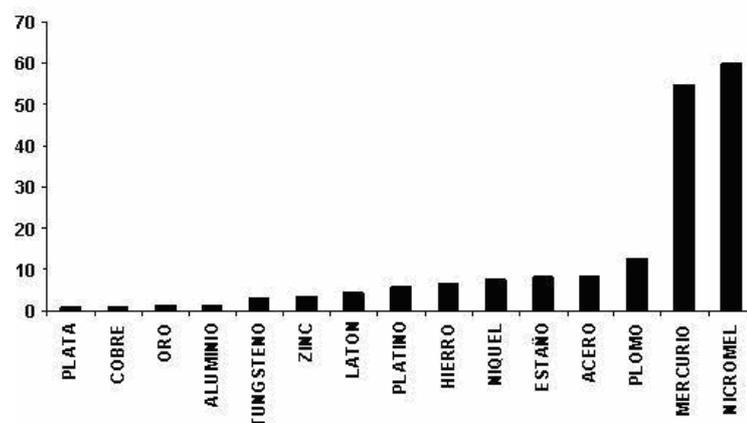
La mayoría de los conductores eléctricos empleados en las instalaciones eléctricas son de cobre o de aluminio, pues poseen buena conductividad. Ver figura 1, Comparativamente el aluminio tiene aproximadamente el 84 % de la conductividad del cobre, pero es más liviano; en lo referente al peso, puede tenerse con el mismo peso casi cuatro veces mayor cantidad de conductor de aluminio, que de cobre.

La resistencia de un conductor viene determinada por una propiedad de la sustancia que lo compone ver figura 2, conocida como conductividad, por la longitud por la superficie transversal del objeto, así como por la temperatura.

A una temperatura dada, la resistencia es proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su conductividad y a su superficie transversal. Generalmente, la resistencia de un material aumenta cuando crece la temperatura, y la resistencia es la propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica. La resistencia de un circuito eléctrico determina —según la llamada ley de Ohm— cuánta corriente fluye en el circuito cuando se le aplica un voltaje determinado.

La unidad de resistencia es el ohmio, que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es R, y el símbolo del ohmio es la letra griega omega. En algunos cálculos eléctricos se emplea el inverso de la resistencia,  $1/R$ , que se denomina conductancia y se representa por G. La unidad de conductancia es siemens, cuyo símbolo es S. Aún puede encontrarse en ciertas obras la denominación antigua de esta unidad, mho.

Figura 2. **Conductancias relativas de diferentes metales**



Fuente: Harry Mileaf, **Electricidad**, Pág. 2-11

### 1.3.1.1 Calibre de conductores

Es práctica común en nuestro país, emplear el sistema de calibración de conductores denominado American Wire Gage (AWG), sin embargo pueden manejarse las dimensiones en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ).ver en anexo tabla de comparación de AWG y  $\text{mm}^2$ .

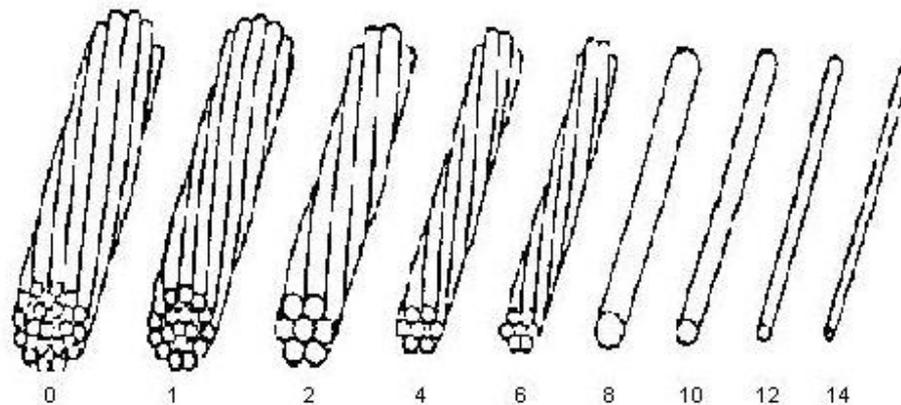
Los calibres de los conductores da una idea de la sección o diámetro de los mismos y se designa usando el sistema norteamericano de calibres (AWG) por medio de un número al cual se hace referencia, otras características como son diámetro, área, resistencia, etc., la equivalencia en  $\text{mm}^2$  del área debe hacerse en forma independiente de la designación usada por la American Wire Gage (AWG). En la figura 3 se observa la estructura de los conductores según la designación AWG.

Es conveniente notar que el sistema de designación de los calibres de conductores usados por la AWG; a medida que el número de designación es más grande la sección es menor. Los tamaños mayores que el 0000 se identifican directamente por su área en circular mil (MCM). Los tamaños de alambre del 8 y menores tienen conductores sólidos y trenzados. Los tamaños de alambre del 6 y mayores son trenzados.

Se puede determinar el tamaño del alambre utilizando un calibrador como lo muestra la figura 4, por lo general para alambres pequeños o desnudos.

No se deben usar alambres de gran tamaño en los que no este marcado el aislamiento. Puede que no sean seguros y probablemente no pasen la inspección.

Figura 3. **Calibre de conductores, designación AWG**



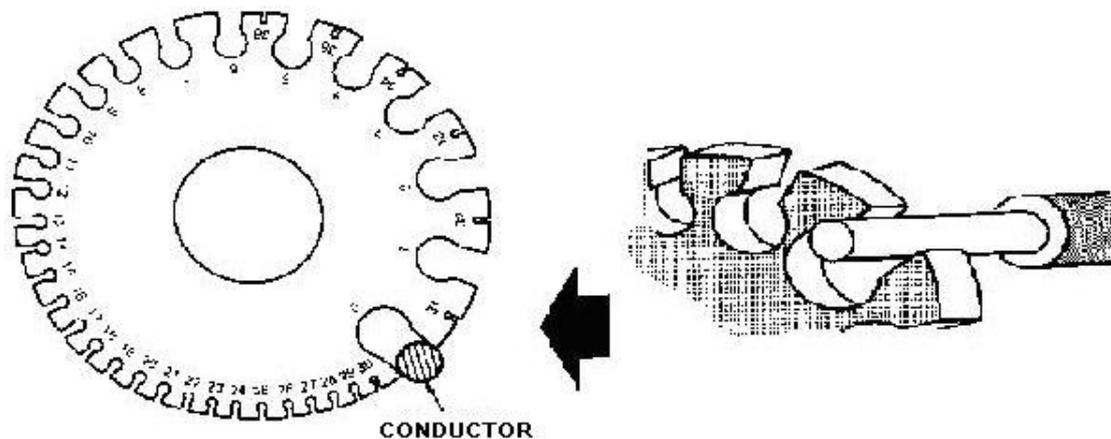
Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág. 11

Sin embargo, los conductores usados en instalaciones eléctricas se seleccionan tomando en cuenta dos factores principales:

- La capacidad de conducción de corriente (Amperaje)
- Caída de voltaje

Cuando los resultados en la selección de un conductor difieran considerando estos dos factores, entonces se debe tomar como bueno el que resulte de mayor sección, ya que de esta manera el conductor se comportara satisfactoriamente.

Figura 4. **Calibrador o galga para conductores eléctricos**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág. 11

### **1.3.1.2 Amperaje**

El amperaje eléctrico es la intensidad de corriente máxima segura para cada tamaño y cada tipo de aislamiento. Esta intensidad máxima de corriente es la capacidad en amperes del conductor. El amperaje del conductor siempre debe incluir, además del tamaño del conductor el material de que está hecho, la temperatura del aire que lo rodea y si se encuentra en tubería o al aire libre.

### **1.3.1.3 Temperatura del conductor y temperatura del aire**

Aquí o se refiere a las dos temperaturas al especificar el amperaje. Una es la temperatura ambiente; la otra es la temperatura nominal normal del conductor. La temperatura ambiente es la temperatura normal del aire en el lugar en el que se instalará el conductor.

La temperatura del conductor es la temperatura máxima del propio alambre cuando lleva toda su corriente nominal. La temperatura base del aire en el medio ambiente es de 86° F (30° C).

El resultado de la reacción de la corriente eléctrica y las temperaturas que pueden influir en el conductor puede notarlo en la tabla del anexo titulada capacidad de carga por calibre según el tipo de cable a temperatura ambiente de 30 °C

#### **1.3.1.4 Conductores eléctricos de baja tensión**

Se puede considerar como conductores de baja tensión a todo aquel que tenga un aislamiento que le permita operar en voltajes de 0 a 1000 v en condiciones de seguridad.

En la tabla I se hace la clasificación de los conductores eléctricos tomando en cuenta el medio en que se utiliza, el material, la temperatura que soporta y el tipo de conductor

Tabla I. Clasificación de los conductores eléctricos y tipos de aislamientos

Nombre Comercial	Tipo	Temp. Max en °C.	Material Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Hule resistente al calor	RH	75	Hule resistente al calor	Resistente a la humedad, retardo de la flama, no metálica	Locales secos
Hule resistente al calor	RHH	90	Hule resistente al calor	Resistente a la humedad, retardo de la flama, no metálica	Locales secos
Hule resistente al calor y a la humedad	RHW	75	Hule resistente al calor y a la humedad	Resistente a la humedad, retardo de la flama, no metálica	Locales húmedos y secos
Hule látex, resistente al calor	RUH	75	90% hule no molido, sin grano	Resistente a la humedad, retardadora a la flama, no metálica	Locales secos
Hule látex, resistente a la humedad	RUW	60	90% hule no molido, sin grano	Resistente a la humedad, retardadora a la flama, no metálica	Locales húmedos y secos
Termoplástico	T	60	Compuesto termoplástico retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos
Termoplástico resistente al calor	THHN	90	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales secos
Termoplástico resistente al calor y a la humedad	THW	75	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos
		90		Ninguna	Aplicaciones especiales dentro de equipos de alumbrado de destello. Limita a 1000 v o menos en circuito abierto
Termoplástico, resistente al calor y a la humedad	THWN	75	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales húmedos y secos
Polietileno vulcanizado resistente a la humedad y al calor	XHHW	75	Polietileno vulcanizado, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y Locales secos
		90	Polietileno vulcanizado, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y Locales secos
Termoplástico, resistente al calor a la humedad y a aceite	MTW	60	Termoplástico, resistente a la humedad, al calor y al aceite retardador de la flama	Ninguna o Nylon	Alambrado de maquinas herramientas en locales húmedos
		90	Termoplástico, resistente a la humedad, al calor y al aceite retardador de la flama	Ninguna o Nylon	Alambrado de maquinas herramientas en locales secos

Fuente: Gilberto Enrique Harper, **El ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales**

Pág. 40-41

## **1.3.2 Canalizaciones eléctricas**

Son los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que estos queden protegidos en la medida de lo posible, contra daño de tipo mecánico, contaminación y a la vez proteger la instalación contra incendio por los arcos que puedan presentarse durante el cortocircuito. Los medios de canalización más utilizados en las instalaciones eléctricas son las siguientes:

### **1.3.2.1 Tubo Conduit**

#### **1.3.2.1.1 Tubo de acero galvanizado de pared gruesa**

Protegido interior y exteriormente por medio de un acabado galvanizado, puede ser utilizado en cualquier clase de trabajo debido a su resistencia mecánica. Su utilización se recomienda en instalaciones industriales de tipo visible o a la intemperie o en instalaciones permanentemente húmedas.

#### **1.3.2.1.2 Tubo de acero galvanizado de pared delgada**

Tiene las mismas aplicaciones que el anterior, solo que no se puede hacer roscas a los extremos, debido a esto se une por medio de acoples u otro tipo de conector.

#### **1.3.2.1.3 Tubo de acero esmaltado**

Este tipo de tubería está protegida interior y exteriormente por una capa de esmalte para proteger contra la oxidación, por lo que su instalación se recomienda en instalaciones a la intemperie o permanentemente húmedas.

#### **1.3.2.1.4 Tubo de aluminio**

Se fabrica de pares gruesa o delgada, tiene la ventaja de ser más ligero, su uso se recomienda para instalaciones en armaduras del mismo material.

#### **1.3.2.1.5 Tubo flexible**

Se emplea en instalaciones en las cuales es necesario hacer muchas curvas, ya que se adapta perfectamente a esto. Es ideal para instalaciones de motores eléctricos, lo mismo que para instalaciones industriales, debido a su resistencia mecánica a la presión.

#### **1.3.2.1.6 Tubo plástico flexible**

Este tubo se fabrica con distintas denominaciones comerciales, tal como poliducto, etc. Tiene las propiedades de ser ligero y resistente a la acción del agua.

Posee la limitante e inconveniente de que su uso no es adecuado en lugares cuyas temperaturas excedan a los 60° C. Para su conexión entre sí y con cajas de conexión, se requieren conectores especiales.

#### **1.3.2.1.7 Ductos**

Consisten en canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapa, se utiliza solo en instalaciones visibles ya que no se puede montar en pared o dentro de losas de concreto, razón por la cual, encuentran mayor aplicación en industrias y laboratorios. El uso del ducto cuadrado aventaja al tubo conduit cuando se trata de sistemas menores de distribución, en especial cuando se emplean circuitos múltiples, ofrecen además, la ventaja de ser más fáciles de alambrear, teniéndose un aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación de calor. En el anexo puede encontrar el número máximo de cables en tubería para tubo conduit, pvc y metálica para diferentes tipos de conductores eléctricos, también encontrara factores de corrección de capacidad de carga cuando un conductor es sometido a temperaturas mayores a los 30 °C, y cuando existen más de tres conductores en la tubería.

#### **1.3.3 Conectores para canalización eléctrica**

Se definen como aquellos elementos que sirven para interconectar las canalizaciones eléctricas entre si, o los elementos que contienen los dispositivos de control, protección o salidas para reflectores.

Estos conectores son esencialmente de dos tipos:

- Condulets
- Cajas de Conexión

### 1.3.3.1 Condulets

Son básicamente cajas de conexión y accesorios empleados en las instalaciones con tubo conduit de tipo visible, se fabrican de una aleación de aluminio y otros materiales, en la figura 5 muestra algunos tipos de condulets.

Figura 5. **Condulets**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.19

### 1.3.3.2 Cajas de conexión

El montaje de accesorios eléctricos o de fuerza como son: contactos o tomacorrientes, apagadores, botones de salida para alumbrado, etc., se fabrican de acero esmaltado o galvanizado. Se fabrican en los siguientes tipos:

- Cajas cuadradas, con 4" con perforaciones de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.
- Cajas rectangulares de 3 5/8" de largo y 2 1/8" de ancho con perforaciones para tubo de 1/2" de diámetro.
- Cajas octogonales de 3 1/2", con perforaciones para tubo de 1/2" y 3/4" de diámetro.

Figura 6. **Cajas de conexión**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.19

### 1.3.4 **Accesorios adicionales**

Son diversos y sus características varían de acuerdo con el tipo de instalación y su tamaño. Dentro de estos accesorios podemos citar:

- Luminarias
- Portalámparas
- Apagadores o interruptores de botón o presión.
  - de tipo oculto
  - de sobreponer.

- Contactos o tomacorrientes. Tipo doméstico, comercial e industrial, los cuales pueden ser:
  - Para sobreponer
  - Intercambiables
  - Tipo oculto
  - de piso y polarizados.

### **1.3.4.1 Luminarias**

#### **1.3.4.1.1 Alumbrado incandescente**

Las lámparas de incandescencia tienen su fundamento en la ley de Joule, ya que transforman la energía eléctrica en luminosa y calorífica, pues las radiaciones luminosas se emiten al ponerse en rojo el filamento. El filamento es un conductor de muy alto punto de fusión, para evitar que se funda. El material que se utiliza para los filamentos de las lámparas de wolframio, cuyo punto de fusión es del orden de los 3,400° C. El wolframio también se llama tungsteno y se utilizan indistintamente los dos nombres. La temperatura media del filamento de una lámpara de incandescencia es del orden de los 2,000° C, razón por la cual no se funden. De todas formas, si el filamento estuviese a la intemperie se combinaría con el oxígeno del aire y se destruiría por oxidación; por esta razón el filamento tiene que estar en el interior de una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío o se ha introducido un gas inerte, como puede ser el nitrógeno, el xenón, etc. Después de un tiempo de funcionamiento se produce la evaporación del material que forma el filamento, se ennegrece la ampolla y disminuye su intensidad luminosa poco a poco.

Esta evaporación del filamento hace que se debilite poco a poco hasta que se rompe, se dice entonces que se ha fundido.

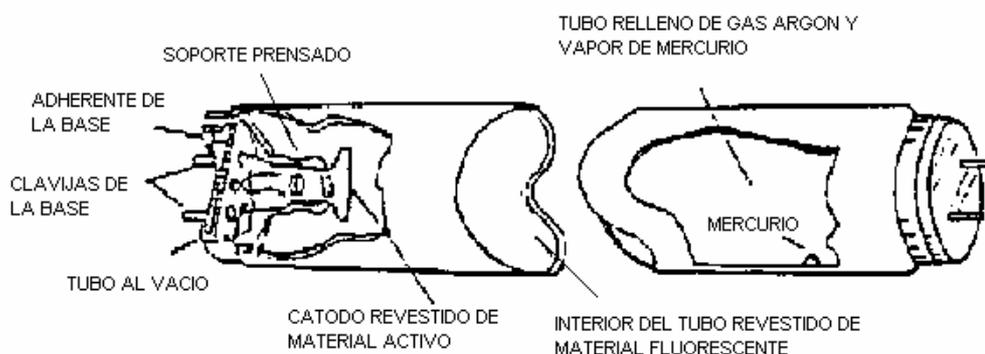
#### **1.3.4.1.2 Lámparas de descarga**

En estas lámparas la luz se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un vapor o gas, en lugar de atravesar un hilo o filamento, como en el caso de las lámparas incandescentes. Un vacío determinado de la lámpara y una tensión lo suficientemente elevada en sus bornes o contactos hacen al gas conductor, permitiendo que se establezca la corriente entre dos electrodos situados en extremos opuestos de la misma. Los electrones que forman la corriente o "arco de descarga" circulan con grandes velocidades a través del gas, chocando continuamente con los átomos de este. El impacto altera por un momento, las posiciones normales de los electrones de dichos átomos, los cuales tienden a recuperarlas lo mas rápidamente posible. En este movimiento de recuperación a su estado normal, la energía absorbida en el choque la devuelven en forma de luz.

Las lámparas de descarga tienen resistencia eléctrica de característica negativa, esto es, su resistencia disminuye facilitando el paso de la corriente eléctrica a medida que aumenta la temperatura; por ello, si se conectan directamente a la red eléctrica la intensidad de corriente absorbida iría aumentando y con ella la temperatura. Lo que daría lugar rápidamente a la destrucción de la lámpara. Para evitar esto las lámparas de descarga deben conectarse a través de una bobina de inducción, "reactancia" que limite el aumento de la corriente eléctrica.

La producción de la luz y su colorido en las lámparas de descarga dependen fundamentalmente de la naturaleza o clase del gas, de la presión que rodea el arco, de la temperatura y de la tensión aplicada. Como conductores gaseosos se emplean principalmente el mercurio y el sodio. Entre las principales lámparas de descarga eléctrica figuran las denominadas fluorescentes, mercurio, (mezcla) y sodio. Las lámparas fluorescentes, poseen excelentes características luminotécnicas para proporcionar la cantidad, la calidad y el tono de luz requeridos en la moderna iluminación, además de presentar la ventaja económica que supone su elevado rendimiento luminoso y su gran duración en comparación con las lámparas de incandescencia, han conseguido que se generalice su uso en el alumbrado de industrias, oficinas, comercios, locales públicos y de espectáculos e incluso en las viviendas.

Figura 7. Lámpara de descarga



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.22

Las posibilidades de utilización de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión son, en la actualidad, muy importantes.

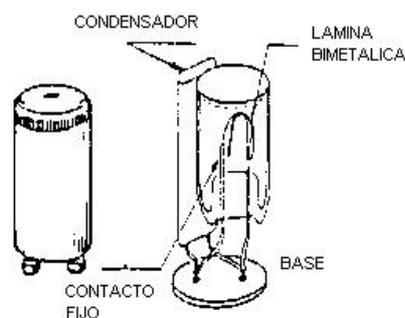
La gran economía que representan por su elevado rendimiento luminoso y larga vida, permiten realizar iluminaciones que hasta no hace muchos años parecían imposibles de resolver, en las cuales se precisa una iluminación rica y abundante, siendo en ellas el color de la luz un factor secundario . Su empleo esta especialmente indicado para el moderno alumbrado urbano, para el industrial, para el de parques y jardines, etc., además de otras aplicaciones de carácter especial. Para la conexión y funcionamiento de luminarias fluorescentes son necesarios los siguientes accesorios:

- arrancador
- reactor.

#### 1.3.4.1.2.1 Arrancador

Es un interruptor automático que consiste en un tubo de vidrio sellado de gas argón. Al cerrar el circuito de arranque las puntas de la lámina fija y de la móvil (bimetálica) se separan y se produce entre ellos una descarga lumínica; se calientan las láminas y cierran el circuito. De esto se aprovecha el reactor para calentar los filamentos y hacer funcionar los tubos.

Figura 8. Arrancador



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.23

#### **1.3.4.1.2.2 Reactor**

Llamado también balastro o transformador para lámpara fluorescente sirve para limitar el paso de la corriente al valor que la lámpara puede soportar, y para elevar la tensión al prender la lámpara.

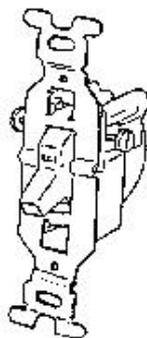
El reactor cumple la función principal de producir tensión inicial necesaria para el encendido del tubo fluorescente, pero también limita la corriente cuando:

- Aumenta la tensión por causas externas
- Disminuye la tensión

#### **1.3.4.2 Interruptores**

Un apagador se define como un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad que se usa, por lo general, para controlar aparatos pequeños domésticos y comerciales así como unidades de alumbrado pequeñas. Debido a que la operación de los interruptores es manual, los voltajes nominales no deben exceder de 600 voltios. Debe tenerse especial cuidado de no usar los interruptores para manejar corrientes que exceden a su valor nominal de voltaje, por lo que se debe observar que los datos de voltaje y corriente estén impresos en las características del interruptor, como un dato del fabricante. Existen diferentes tipos de interruptores; el más simple es el de una vía o monopolar con dos terminales que se usa para "encender" o "apagar" una lámpara u otro aparato desde un punto sencillo de localización. En la figura se muestra este tipo de interruptor y su principio de operación.

Figura 9. **Interruptor Monopolar**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.24

#### **1.3.4.2.1 Interruptor de tres vías**

Los llamados interruptores de tres vías se usan principalmente para controlar lámparas desde dos puntos distintos, por lo que se requieren dos interruptores de tres vías para cada instalación o parte de instalación en donde se requiere este tipo de control. Por lo general este tipo de interruptores tienen tres terminales.

#### **1.3.4.2.2 Interruptor de cuatro vías**

En el caso de que se desee controlar un circuito de alumbrado desde tres o más puntos distintos, entonces se usan los llamados apagadores de cuatro vías que tienen 4 terminales. Cuando se usan apagadores de cuatro vías es necesario usar también dos apagadores de tres vías en el mismo circuito, de manera que el interruptor de cuatro vías quede en medio de los dos de tres vías.

### **1.3.4.2.3 Accesibilidad**

Invariablemente en cualquier instalación eléctrica; todos los interruptores se deben instalar de manera tal que se puedan operar manualmente y desde un lugar fácilmente accesible. El centro de la palanca de operación de los interruptores no debe quedar a más de 2.0 metros sobre el nivel del piso en ningún caso. En el caso particular de interruptores para alumbrado en casas de habitación, oficinas y centros comerciales se instalan entre 1.20 y 1.35 mts. Sobre el nivel del piso.

### **1.3.4.2.4 Montaje de interruptores**

Existen dos tipos de montaje de interruptores:

- Tipo sobrepuesto o superficial. Los interruptores que se usen en instalaciones visibles con conductores aislados, se deben colocar sobre bases de material aislante que separen a los conductores por los menos 12 mm. De la superficie sobre la cual se apoya la instalación.
- Tipo empotrado. Los interruptores que se alojan en cajas de instalaciones ocultas se deben montar sobre una placa o chasis que este a ras con la superficie de empotramiento y sujeto a la caja.

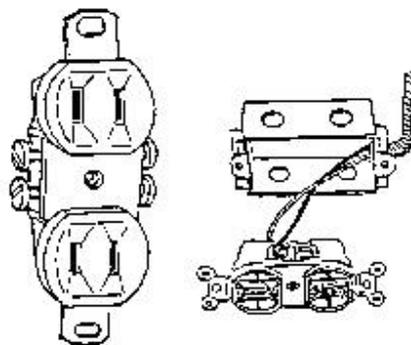
Los interruptores instalados en cajas metálicas embutidas y no puestas a tierra y que puedan ser alcanzados desde el piso, se deben proveer de tapas de material aislante semicomcombustible.

Los interruptores que se instalan en lugares húmedos, mojados o a la intemperie, se deben alojar en cajas a "prueba de intemperie" o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua.

### 1.3.4.3 Tomacorrientes

Los tomacorrientes se usan para enchufar (conectar) por medio de clavijas, dispositivos portátiles tales como lámparas, taladros portátiles, radios, televisores, tostadoras, licuadoras, lavadoras, batidoras, secadoras de pelo, rasuradoras eléctricas, etc.. Los tomacorrientes pueden ser sencillos o dobles, del tipo polarizado (para conexión a tierra) y a prueba de agua. En los casos más comunes son más sencillos, pero se pueden instalar en cajas combinados con interruptores. Estos tomacorrientes deben ser para una capacidad nominal no menor de 15 amperios para 125 voltios y no menor de 10 amperios para 250 voltios, y los tomacorrientes deben ser de tal tipo que no se puedan usar como portalámparas.

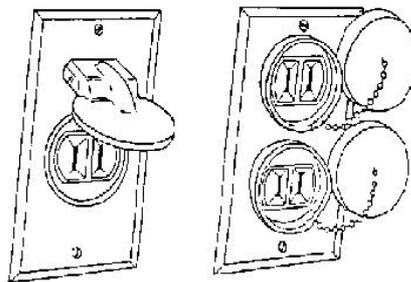
Figura 10. Tomacorrientes



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.26

Los tomacorrientes se localizan aproximadamente de 30 a 40 Cm. respecto al nivel de piso terminado. En caso de cocinas de casas de habitación, es común instalar los tomacorrientes a una altura de 1.2 mts. (SNP).

Figura 11. **Tomacorriente de intemperie**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.26

### 1.3.5 Dispositivos de protección

Los dispositivos de protección se diseñan para interrumpir el circuito que alimenta a la carga instalada, con la finalidad de protegerla de los daños que puedan suceder por la existencia de una condición anormal en el funcionamiento de la carga o del mismo circuito que provee la energía eléctrica.

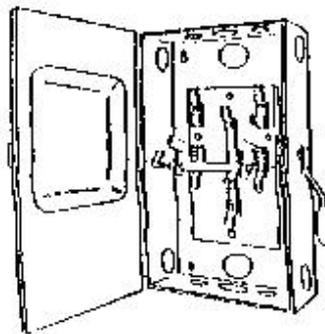
Debido a que toda instalación eléctrica está sujeta a fallas, por errores humanos, desperfectos en los aislamientos de los equipos, o en los cables, por causas naturales e imprevistas, es de gran importancia seleccionar las protecciones, de tal forma que el circuito y la carga puedan desconectarse lo más pronto posible, para que el daño que pueda ocasionar la falla disminuya al mínimo.

El costo de los daños ocasionados por una falla en cualquier tipo de instalación eléctrica, normalmente es mayor que el costo de los dispositivos de protección que localiza la falla y la elimina, luego es importante hacer una adecuada selección y coordinación de las protecciones, con criterios económicos ajustados al tipo de equipo que se quiere proteger.

### **1.3.5.1 Tableros de distribución y protecciones**

En cualquier instalación eléctrica, el punto de conexión después del medidor de energía eléctrica, lo constituye el tablero de distribución puede estar constituido de uno o más interruptores de cuchilla con palanca y protección de fusibles o de una combinación de fusible y termomagnético.

Figura 12. **Interruptor de cuchilla con protección de fusible**



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.25

Todo tablero de distribución tiene las siguientes funciones básicas:

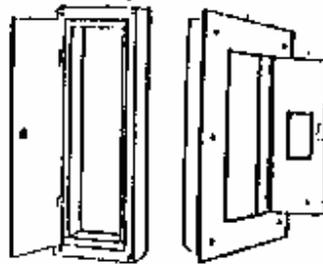
- Distribuir la energía eléctrica en varios circuitos ramales.
- Proteger cada circuito ramal contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Proveer de un medio de desconexión, para cada circuito ramal, o todos los circuitos que forman parte de la instalación eléctrica.

#### **1.3.5.2 Clasificación de los tableros de protección**

De acuerdo a la capacidad interruptiva disponible:

- Tableros con AIC hasta 10,000 Amperios Simétricos. Son utilizados en instalaciones residenciales, comerciales y oficinas, se caracterizan porque los interruptores termomagnéticos son del tipo de enchufar (plug-in), también puede especificarse para empernar (bolt-on). Naturalmente se utilizan para servicio liviano, tales como: alumbrado, tomas y pequeñas cargas con aire acondicionado, generalmente se emplean como subtableros (ST).
- Tableros con AIC mayor de 10,000 A Simétricos. En este caso los interruptores termomagnéticos son de empernar, se emplean como tableros generales (TG); su carga normalmente consiste en equipos grandes y también subtableros. Generalmente se instalan lo más cerca posible de la subestación y máquinas de mayor consumo.
- De acuerdo al montaje.
- Superficial o adosado, van montados sobre la pared y asegurados con pernos, o sobre bases de concreto.
- Empotrado, van ocultos dentro de la pared, generalmente son pequeños; de manera que puedan empotrarse en una pared normal.

Figura 13. Tipos de tableros de protección



Fuente: C.F.P. Ricaldone, **Instalaciones Eléctricas Residenciales** Pág.28

De acuerdo al número de fases

- Monofásico, 3 hilos.
- Monofásico, 4 hilos.
- Trifásico, 3 hilos.
- Trifásico, 4 hilos.
- Trifásico, 5 hilos.

De acuerdo al voltaje:

- 240 / 120 v.
- 208 / 120 v.
- 480 / 277 v.
- 600 v

De acuerdo al número de espacios:

- Monofásico: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30 y 42.
- Trifásico: 3, 12, 18, 24, 30, y 42

### **1.3.5.3 Tipos de dispositivos de protección**

Todo sistema de protección por sobrecorriente y cortocircuito, generalmente consta de una coordinación de protecciones individuales que pueden resumirse en tres tipos fundamentales:

- Relevadores
- Fusibles
- Interruptores

#### **1.3.5.3.1 Relevadores**

Se define al relevador como el dispositivo que provoca un cambio en uno o más circuitos de control eléctrico, cuando la cantidad medida a la cual responde, cambia de una manera prescrita.

#### **1.3.5.3.2 Fusibles**

Son elementos de protección que generalmente constan de una cinta o un alambre de aleación de plomo - estaño, que posee un bajo punto de fusión, que se funde cuando se excede del límite para el cual ha sido diseñado, interrumpiendo el circuito.

Tipos de fusible, según normas americanas:

- Fusible de tapón. Utilizado en casas de habitación con capacidades de 10, 15 y 20 amperios.
- Fusible de cartucho. Que pueden ser tipo casquillo para capacidades de 3 a 60 amperios, estos fusibles son renovables ya que si se funde el elemento fusible, puede ser reemplazado.
- Fusibles ordinarios
- Fusibles limitadores de corriente.

### **1.3.5.3.3 Interruptores**

Existen tres tipos: termomagnéticos, magnéticos y térmicos. Los tipo térmicos actúan contra sobrecorrientes; los magnéticos protegen contra cortocircuitos y los termomagnéticos tienen la ventaja de ofrecer los dos tipos de protección.

Las capacidades comerciales de interruptores termomagnéticos para 600 v de corriente alterna, son de: 15, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 A. También se fabrican de dos polos para 220 v corriente alterna y de tres polos para 240 v de corriente alterna. En ambos casos las capacidades comerciales son de 30, 60, 100, 200, 400 y 600 A.

Ventajas:

- Son productos que se pueden utilizar en cualquier aplicación.
- Mecanismo rápido de conexión y desconexión.
- Eliminan el problema de que la red se quede trabajando con una o dos fases, ya que una sola barra desconecta todos los polos simultáneamente, en fallas de cortocircuito o sobrecarga.
- Ofrecen operación repetitiva (ya que no hay reemplazo de fusibles).

## **2 DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES**

### **2.1 Instalaciones**

Las instalaciones en donde se va a realizar el diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas son los edificios S8 Y T9 del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **2.1.1 Caracterización de carga**

En las instalaciones eléctricas de los edificios S8 y T9 se tiene que obtener datos con respecto al estado actual y dimensionamiento de conductores, capacidad, calibre y secciones de conductores eléctricos, tuberías y análisis de la calidad de energía y sus efectos armónicos, cálculo de red de tierras y una revisión de las luminarias.

## 2.1.2 Estado actual y dimensionamiento de conductores

### 2.1.2.1 Edificio S8

Se realizó una inspección de campo a los tableros del edificio haciendo pruebas a todas las protecciones con el objetivo de identificar los lugares a los que alimenta cada circuito y el tipo de carga que sirven.

Las tablas a continuación muestran el resumen de lo encontrado en los tableros del edificio S-8.

Tabla II. **Tablero de distribución A del primer nivel edificio S8**

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR- TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE
1	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	CALIENTE	21
2	30 A	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	5
3	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	2.2
4	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	EMPALMADO	2.5
5	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	5.4
6	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	5.3
7	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	3.5
8	40 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	3.5
9	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	3.6
10	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	0
11	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	7.2
12	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	2.2
13	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	1.1
14	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	1.3

Tabla III. Tablero de distribución B del primer nivel edificio S8

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE DE CARGA
1	30 A	240 V	BIPOLAR	8	BUENO	0.2
2	30 A	240 V	BIPOLAR	10	EMPALMADO	0.3
3	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	BUENO	0.4
4	40 A	120 V	UNIPOLAR	10	BUENO	0.3
5	40 A	120 V	UNIPOLAR	8	BUENO	7.8
6	30 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	0.3
7	20 A	120 V	UNIPOLAR	6	BUENO	3.3
8	50 A	120 V	UNIPOLAR	6	BUENO	17.1
9	20 A	120 V	UNIPOLAR	6	BUENO	8
10	20 A	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	0.3
11	60 A	240 V	BIPOLAR	8	BUENO	0.3
12	60 A	240 V	BIPOLAR	8	BUENO	0.3

Tabla IV. Tablero de distribución C del segundo nivel edificio S8

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE DE CARGA
1	30	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.1
2	20	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.1
3	30	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.1
4	30	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2
5	15	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2
6	20	120 V	UNIPOLAR	8	REGULAR	13.1
7	20	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	3.3
8	20	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	2.5
9	50	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2.5
10	30	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	3.5
11	15	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	3.5
12	15	120 V	UNIPOLAR	8	REGULAR	3.5
13	30	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2.5
14	20	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	10.5

Tabla V. **Tablero de distribución D del segundo nivel edificio S8**

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE DE CARGA
1	20	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	0.3
2	20	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	11.6
3	30	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	4.1
4	30	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	4.4
5	20	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	12.4
6	30	120 V	UNIPOLAR	12	CALIENTE	18.6
7	30	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	15
8	30	120 V	UNIPOLAR	12	REGULAR	0.5
9	30	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	9.3
10	20	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	12.8
11	20	120 V	UNIPOLAR	12	VIEJO	4.7
12	30	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	8
13	30	120 V	UNIPOLAR	12	BUENO	10.9

En la actualidad el estado de los conductores ha sobrepasado la cantidad de años de utilidad, ya que todavía se utiliza neutros desnudos no que ahora ya no se observan y que es recomendable que una instalación en su mantenimiento se realice un cambio de conductores por lo menos cada 5 años o un máximo de 10 años.

### 2.1.2.2 Edificio T9

Se realizó una inspección de campo a los tableros del edificio haciendo pruebas a todas las protecciones con el objetivo de identificar los lugares a los que alimenta cada circuito y el tipo de carga que sirven. Las tablas que a continuación se muestran el resumen de lo encontrado en los tableros del edificio T-9.

Tabla VI. Tablero de distribución primer nivel edificio T9

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE
1	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
2	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9
3	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.2
4	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	2.5
5	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.4
6	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.3
7	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.5
8	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.5
9	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.6
10	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8.3
11	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.2
12	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3
13	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.7
14	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7
15	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
16	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9
17	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2.4
18	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
19	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
20	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.1
21	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2.1
22	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.1
23	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	1.4
24	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
25	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
26	50 A	120/208 V	TRIPOLAR	10	REGULAR	15

Tabla VII. Tablero de distribución segundo nivel edificio T9

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE
1	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
2	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5
3	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	2.2
4	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	2.5
5	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.4
6	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.3
7	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.5
8	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.5
9	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	3.6
10	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7
11	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.2
12	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8.5
13	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
14	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
15	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
16	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.5
17	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
18	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	5
19	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
20	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
21	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
22	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
23	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3

Tabla VIII. Tablero de distribución tercer nivel edificio T9

No. TERMINAL DEL TABLERO	CAPACIDAD DEL FLIPÓN	VOLTAJE	TIPO DE FLIPÓN UNIPOLAR-BIPOLAR-TRIPOLAR	CALIBRE DEL CONDUCTOR	ESTADO DEL CONDUCTOR	AMPERAJE
1	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
2	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7
3	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6
4	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6.2
5	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6.3
6	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.3
7	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	5.4
8	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6
9	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6
10	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	6
11	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.2
12	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7
13	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8
14	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9
15	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9.3
16	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	8.7
17	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9.4
18	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9.3
19	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	9.3
20	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.4
21	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.4
22	20 A	120 V	UNIPOLAR	14	REGULAR	7.2
23	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
24	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
25	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
26	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
27	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	2
28	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	3.3
29	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	4.1
30	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.3
31	20 A	120 V	UNIPOLAR	10	REGULAR	0.2
32	30 A	240 V	BIPOLAR	10	REGULAR	7

### 2.1.3 Tuberías

#### 2.1.3.1 Edificio S8

Las tuberías utilizadas en el edificio S8 son del tipo conduit y poliducto, las dimensiones de la tubería que se utilizan se registran en la siguiente tabla

Tabla IX. Descripción del diámetro de tubería utilizado en el edificio S8

DESCRIPCIÓN	Ø Tubería
Entrada principal a los subtableros A, B, C y D	2"
Distribución a Tomacorrientes y luminarias	1/2" 3/4" 1"
otros usos	1 1/4"

#### 2.1.3.2 Edificio T9

Las tuberías utilizadas en el edificio S8 son del tipo conduit y poliducto, las dimensiones de la tubería que se utilizan se registran en la siguiente tabla

Tabla X. Descripción del diámetro de tubería utilizado en el edificio S8

DESCRIPCIÓN	Ø Tubería
Entrada principal a los subtableros A, B, C y D	2"
Distribución a Tomacorrientes y luminarias	1/2" 3/4" 1"
otros usos	1 1/4"

## **2.1.4 Protección**

Los dispositivos de protección tienen por objeto resguardar la seguridad de la instalación y del edificio en caso de sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos que pudieran causar incendios u otros daños. En todo circuito, la corriente máxima que pueda circular debe quedar limitada de acuerdo al diseño y capacidad de conducción de la corriente de los conductores, en función de la intensidad y del tiempo, ya que el incremento de la temperatura es función de estos dos factores.

Los dispositivos de protección que se presentan en los edificios S8 y T9 son de "caja moldeada" que son de dimensiones pequeñas y construcción menos robusta. El mecanismo de disparo puede ser solamente térmico, termomagnético y últimamente electrónico. Los cortocircuitos pequeños usualmente son solamente térmicos, mientras los grandes incluyen también un disparo magnético ajustable.

### **2.1.4.1 Prueba de disparo**

#### **2.1.4.1.1 Prueba de corto circuito térmico**

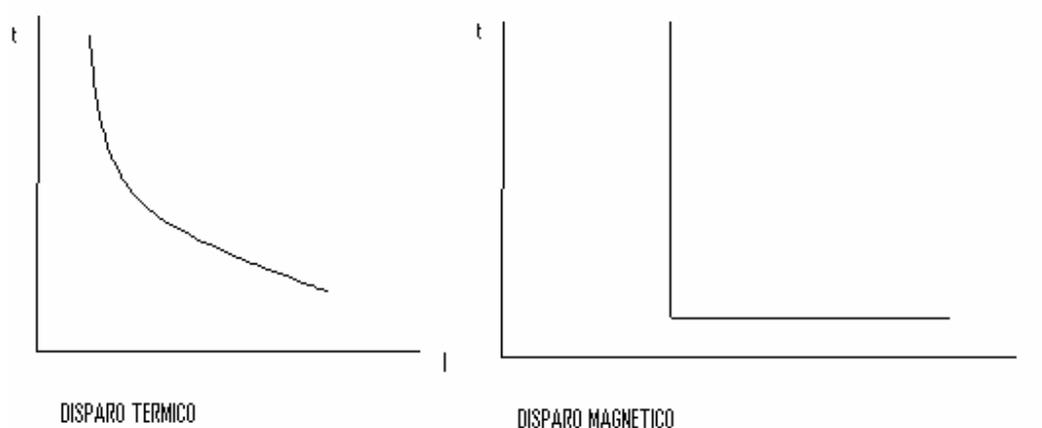
La prueba de disparo se realiza cuando la corriente pasa por un conductor paralelo a una tira bimetálica, calentándola en función de  $I^2$  y el tiempo, así como a la disipación de calor del mecanismo.

Al calentarse, la tira bimetálica se encorva, empujando una palanquita del mecanismo de disparo, con lo que los contactos se abren rápidamente por la acción de un resorte tensado. Al dispararse, la palanca externa queda en una posición intermedia, indicando el disparo. Primero se tiene que bajar la palanca para reponer el mecanismo de disparo, y luego subirla, para cerrar nuevamente el circuito.

#### 2.1.4.1.2 Prueba de disparo magnético

El disparo magnético se utiliza para la protección más rápida en caso de un cortocircuito. Consiste en una bobina conectada en serie con la corriente, que al sobrepasar están en un cierto valor, atrae su armadura, que está interconectada mecánicamente en el mecanismo de disparo. El elemento magnético generalmente es ajustable en cuanto a la corriente de disparo, el tiempo es fijo, casi instantáneo

Figura 14. **Pruebas de disparo de corto circuito térmico y disparo magnético**



Fuente: Ing. Rodolfo Koenigsberger. **Instalaciones Eléctricas**, Pág. 84

En síntesis analizando lo anterior se da por entendido que la protección instalada actualmente son flipónes de marca Federal Pacific, de los cuales ya no se fabrican en nuestro tiempo y que nunca han tenido unas pruebas de corto circuito y de disparo y que en su mayoría todavía cumple la función de protección pero que tendrían que ser cambiados en su totalidad.

## **2.1.5 Tableros**

### **2.1.5.1 Condición actual**

En la actualidad en los edificios S8 y T9 se conservan tableros con características como lo son:

- Marca: Federal Pacific
- Tableros de polos 24 y 36 polos para tableros de distribución
- Tableros de polos 24 para tableros generales
- Caja de cuchillas con fusibles

Estos tipos de tableros y cuchillas actualmente ya no son utilizados y tendrían que ser actualizado el sistema de protección que usan actualmente las instalaciones de los edificios. En el edificio S8 las protecciones de los edificios no llenan los requisitos ya que la sobrecarga ha hecho que en hora pico u horas durante el semestre de mayor demanda se dispare y estos son de alguna manera forzados a funcionar o es su caso cambiados por otro de mayor capacidad sin estudios previos sobre si el dimensionamiento del conductor es el adecuado, que tuviera que ir en proporción con la protección hacia el circuito que esta alimentando.

En el edificio T9 hay una pequeña diferencia con respecto a la encontrada con el edificio S8 ya que los flipónes se encuentran en buen estado y la mayoría no son forzados a su funcionamiento, no queda la duda que las instalaciones de ambos edificios es necesario un cambio total de su protección, una protección que actualmente existe en el mercado donde los flipónes se aplican a ciertas normas internacionales que detallan aspectos sobre la protección y pruebas de disparo mas eficiente y el tiempo de disparo mucho menor que los que existen actualmente en los edificios.

### **3 DIAGRAMAS UNIFILARES**

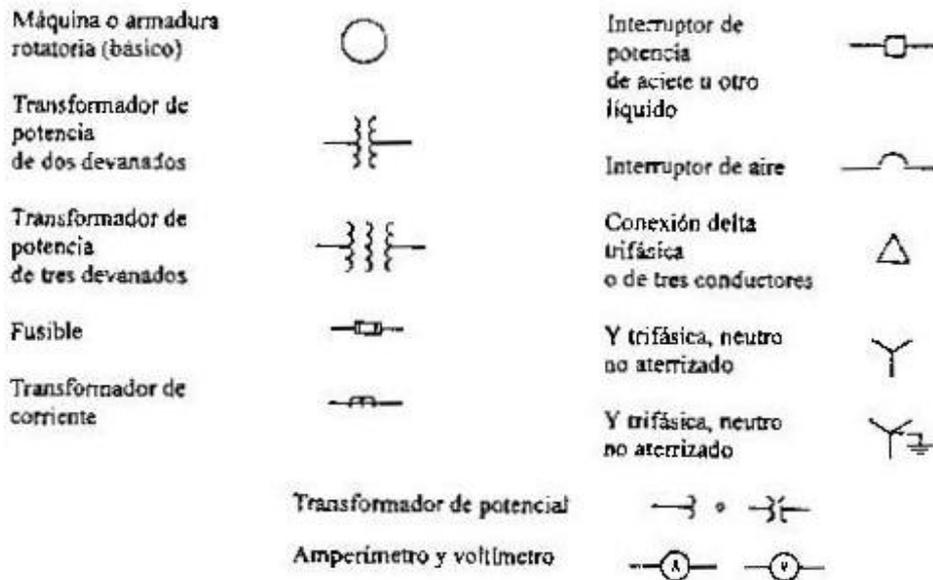
Los diagramas unifilares representan todas las partes que componen a un sistema de potencia de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así una forma de visualización completa del sistema, de una manera más sencilla.

El propósito de un diagrama unifilar es el de suministrar en forma concisa información significativa acerca del sistema.

La importancia de las diferentes partes de un sistema varía con el problema, y la cantidad de información que se incluye en el diagrama depende del propósito para el que se realiza. Por ejemplo, la localización de los interruptores y relevadores no es importante para un estudio de cargas.

Los interruptores y relevadores no se mostrarían en el diagrama si su función primaria fuera la de proveer información para tal estudio. Por otro lado, la determinación de la estabilidad de un sistema bajo condiciones transitorias resultantes de una falla, depende de la velocidad con la que los relevadores e interruptores operan para aislar la parte del sistema que ha fallado. Por lo tanto, la información relacionada con los interruptores puede ser de extrema importancia. Algunas veces, los diagramas unifilares incluyen información acerca de los transformadores de corriente y de potencia que conectan los relevadores al sistema o que son instalados para medición.

Figura 15. Símbolos estándar para los diagramas eléctricos.



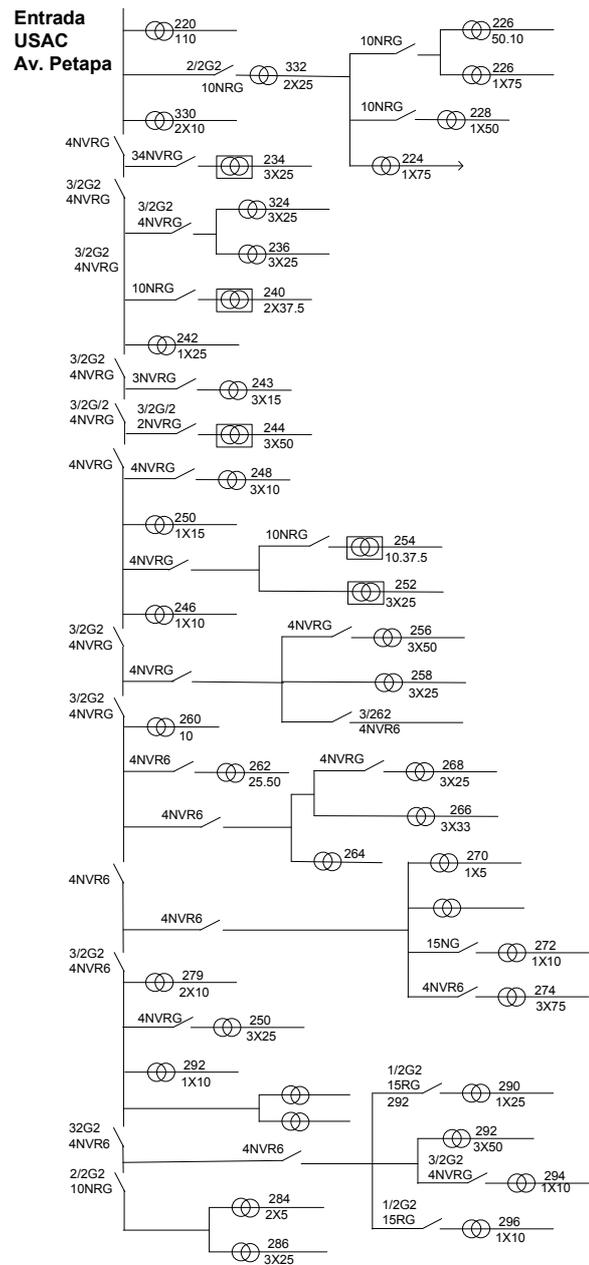
Fuente: John J. Grainger, **Análisis de Sistemas de Potencia** Pág.32

### 3.1 Diagrama unifilar de la red eléctrica general

En las siguientes figuras 16 y 17 se muestran los diagramas unifilares correspondientes a los ramales del sistema eléctrico nacional que alimenta los diferentes edificios del campus central de la universidad de San Carlos de Guatemala. La universidad es alimentada por dos ramales la entrada por el anillo periférico y el otro 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 currillas seccionadoras.



Figura 17. Diagrama unifilar visto desde la entrada de la Avenida Petapa



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Campus Central

## **3.2 Diagrama unifilar de la sub-red eléctrica**

Para una mejor descripción de los diferentes circuitos que componen la sub-red eléctrica del los edificios S8 y T9 se describirá a continuación los diagramas unilaterales de cada edificio para analizar de una mejor manera su estudio y su distribución de carga eléctrica.

### **3.2.1 Edificio S8**

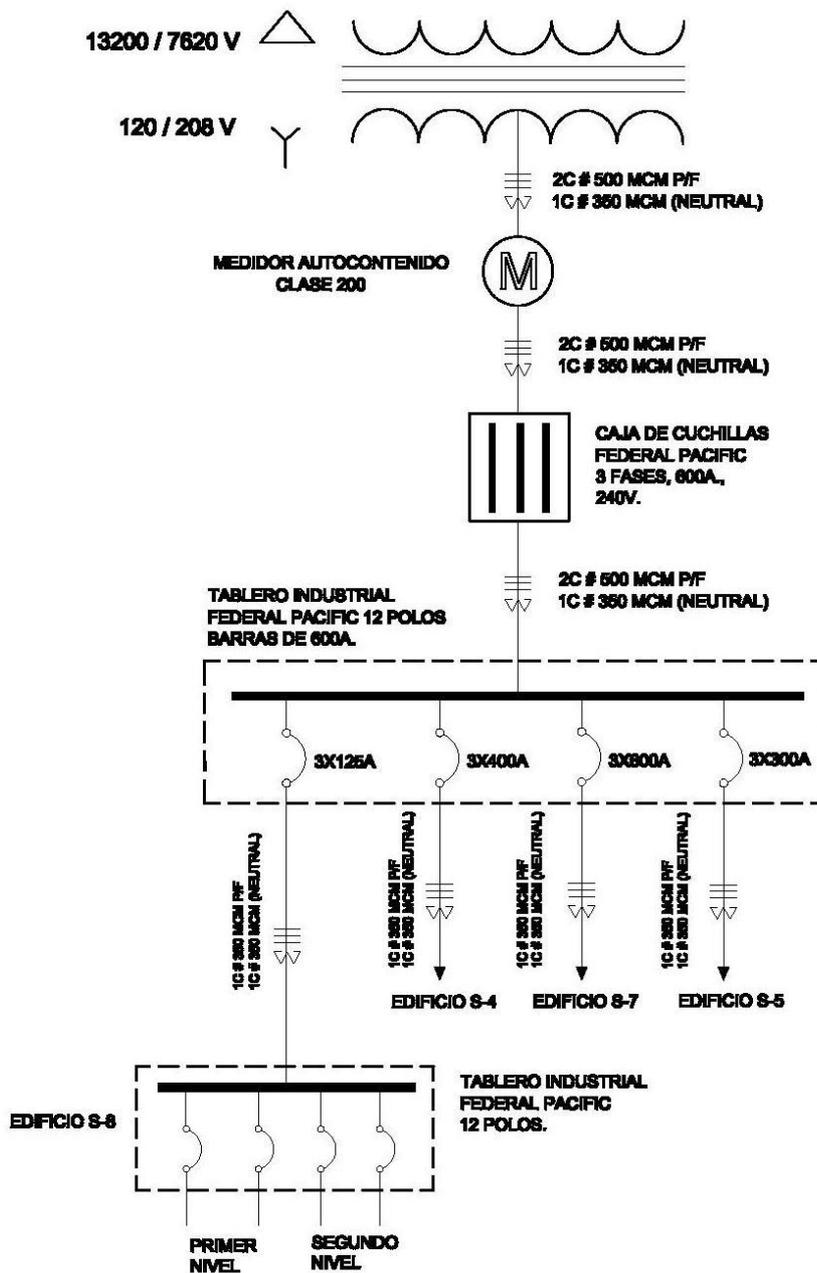
En la figura 18 muestra el diagrama unifilar del edificio S8 que se deriva de un tablero principal al cual están incluidos los edificios S4, S5, S7 y S8 y este último se deriva de dicho tablero lo cual en el transcurso de nuestro estudio se va estudiar por separado.

En las figuras 18 se pueden notar los diagramas unilaterales partiendo del flipón principal del S8 en la cual se nota que existen 2 tableros de distribución por cada nivel.

Cada tablero de distribución es de marca Federal Pacific que actualmente no existen y tienen una particularidad muy especial. Y es que anteriormente se podían agregar flipónes pequeños por eso existen tableros con 14 o 16 flipónes. Pero realmente son de 12 polos ya que por la adaptación de flipónes suelen haber más.

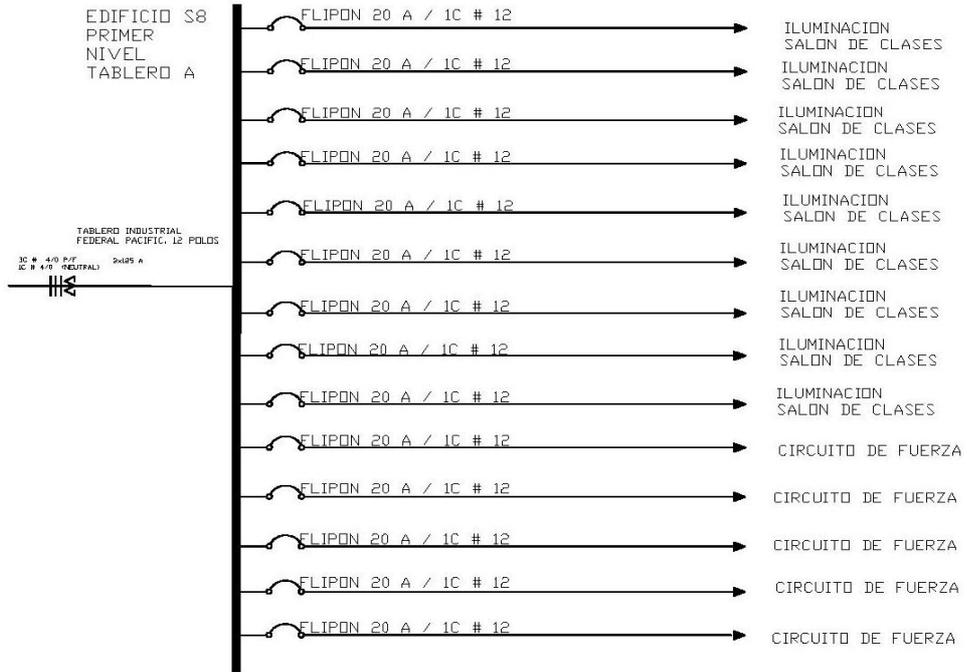
En las figuras 19, 20, 21 y 22 se muestran los diagramas unilaterales para los subtableros de distribución A, B, C y D del edificio S8.

Figura 18. Diagrama unifilar acometida principal edificio S8



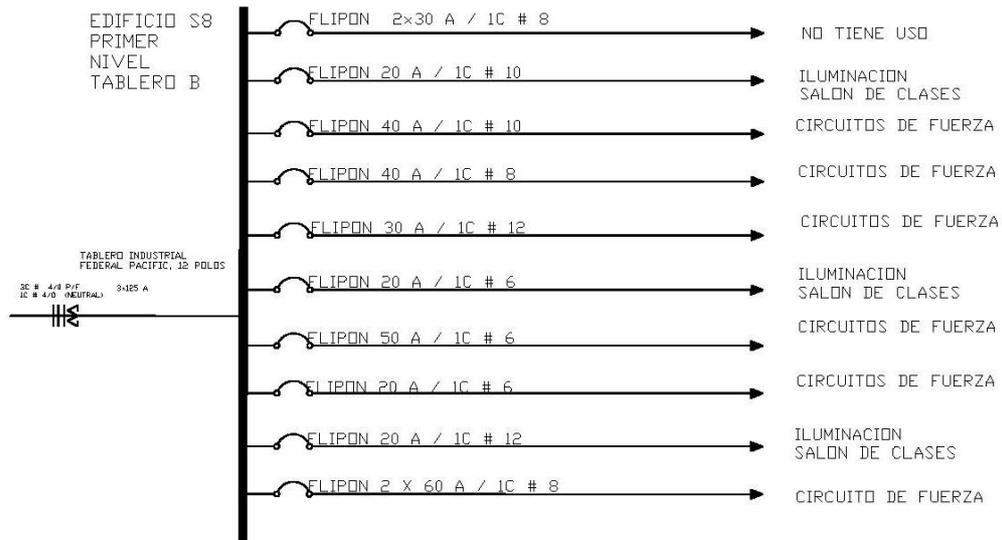
Fuente: Edificio S8, Campus Central Universitario

Figura 19. Diagrama unifilar tablero de distribución A edificio S8



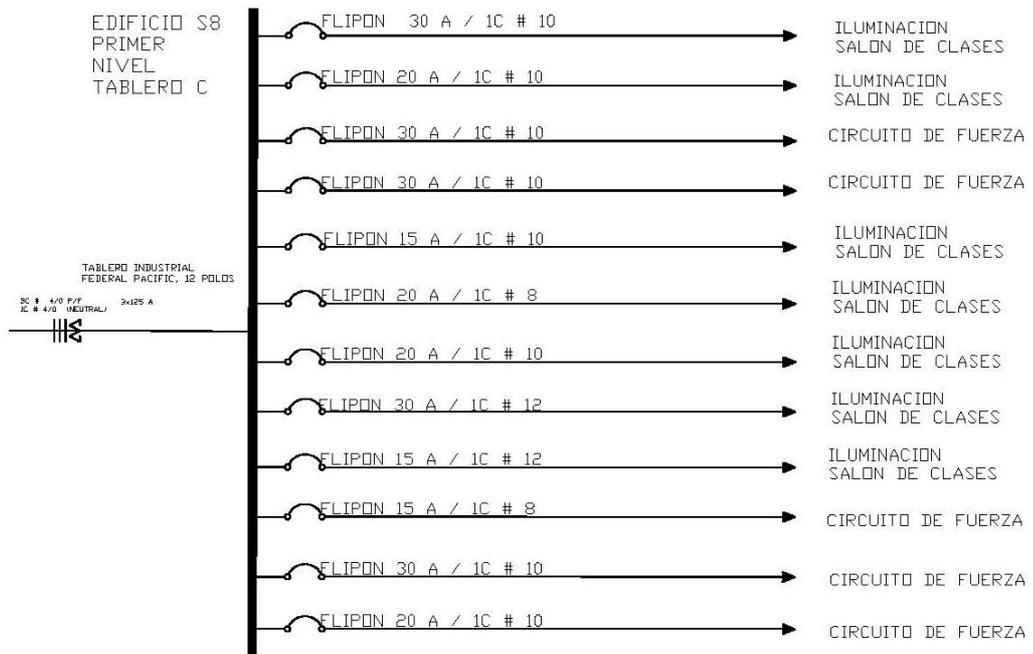
Fuente: Edificio S8, Campus Central Universitario

Figura 20. Diagrama unifilar tablero de distribución B edificio S8



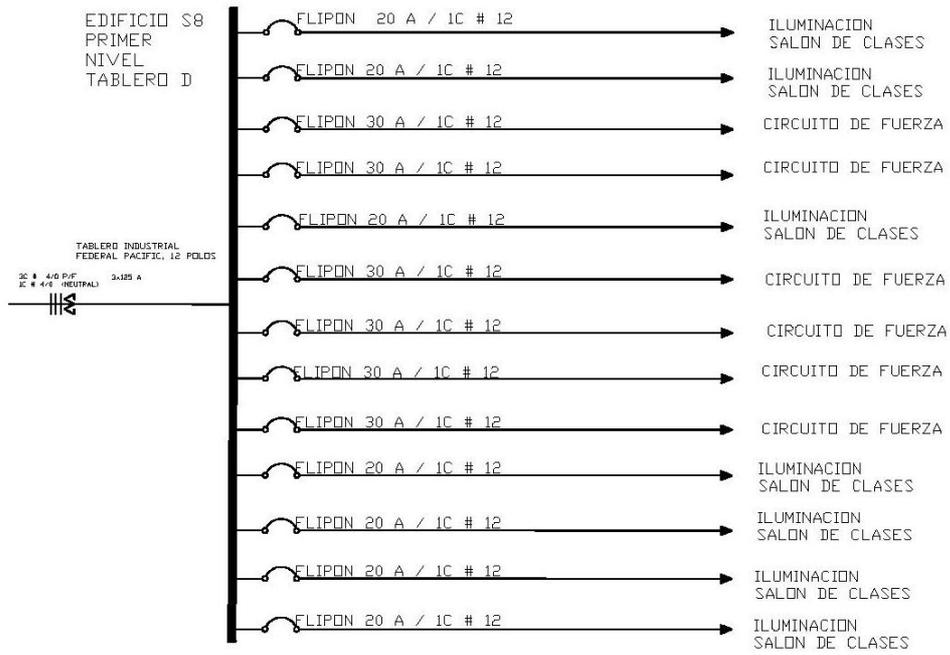
Fuente: Edificio S8, Campus Central Universitario

Figura 21. Diagrama unifilar tablero de distribución C edificio S8



Fuente: Edificio S8, Campus Central Universitario

Figura 22. Diagrama unifilar tablero de distribución D edificio S8



Fuente: Edificio S8, Campus Central Universitario

### **3.2.2 Edificio T9**

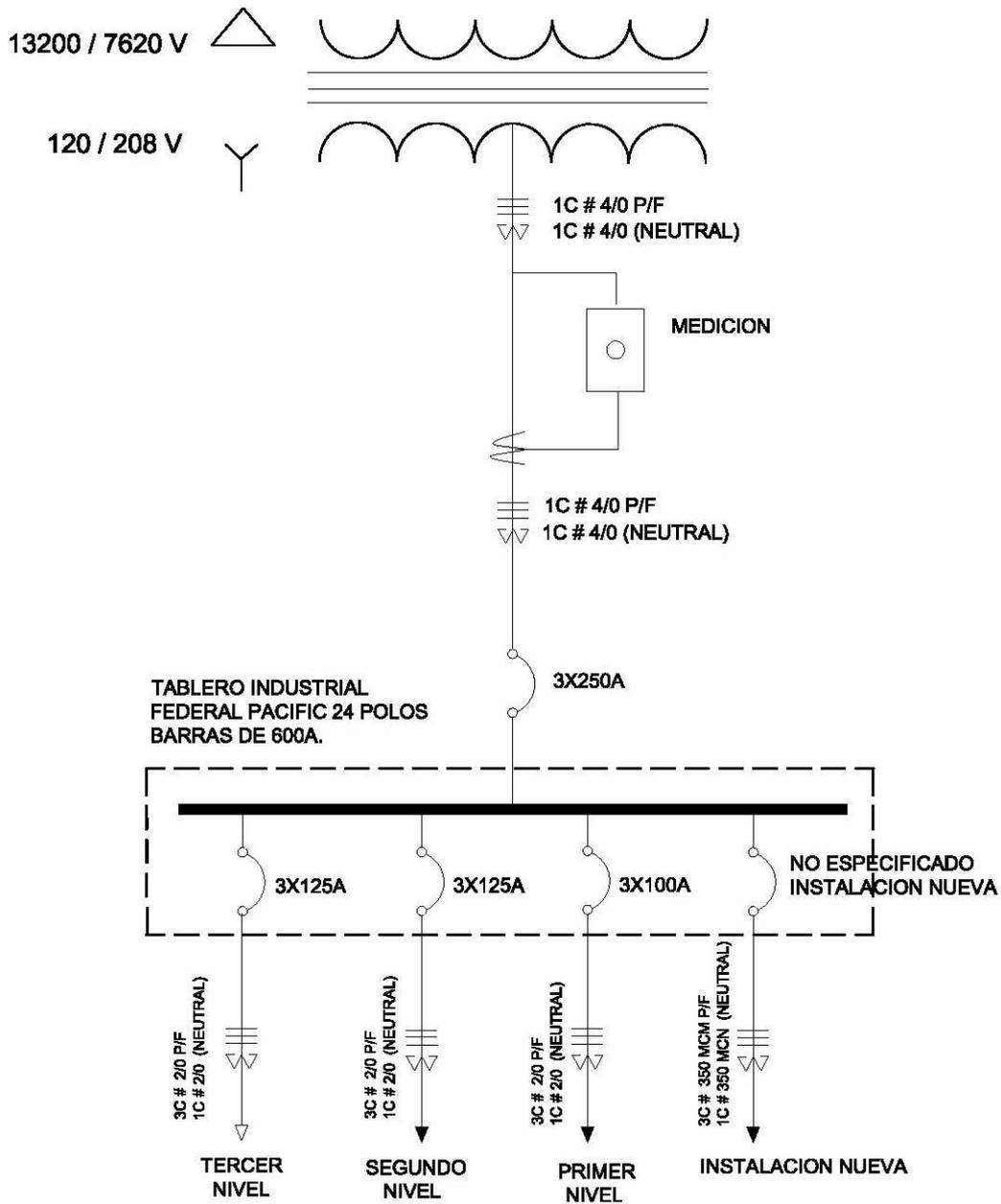
En la figura 23 se muestra el diagrama unifilar general del edificio T9 donde muestra su conexión de los transformadores su tipo de configuración que es estrella proporcionando un voltaje de 120/208 voltios. De ahí sus principales ramales que son las del primer nivel, segundo nivel y tercer nivel. De ahí se deriva un rama de la nueva instalación que solo tiene como finalidad alimentar tomacorriente para uso de la nueva red que se esta introduciendo en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En la figura 24 se muestra como se dividen dos ramales principales en el tercer nivel, el ramal del laboratorio de computación, y el ramal para la instalación de iluminación y fuerza.

En la figura 25 muestra el diagrama unifilar de la distribución de sus cargas como lo son la iluminación y fuerza del tercer nivel. En la figura 26 se muestra el diagrama Unifilar del centro de cómputo de la unidad de sistema de información geográfica

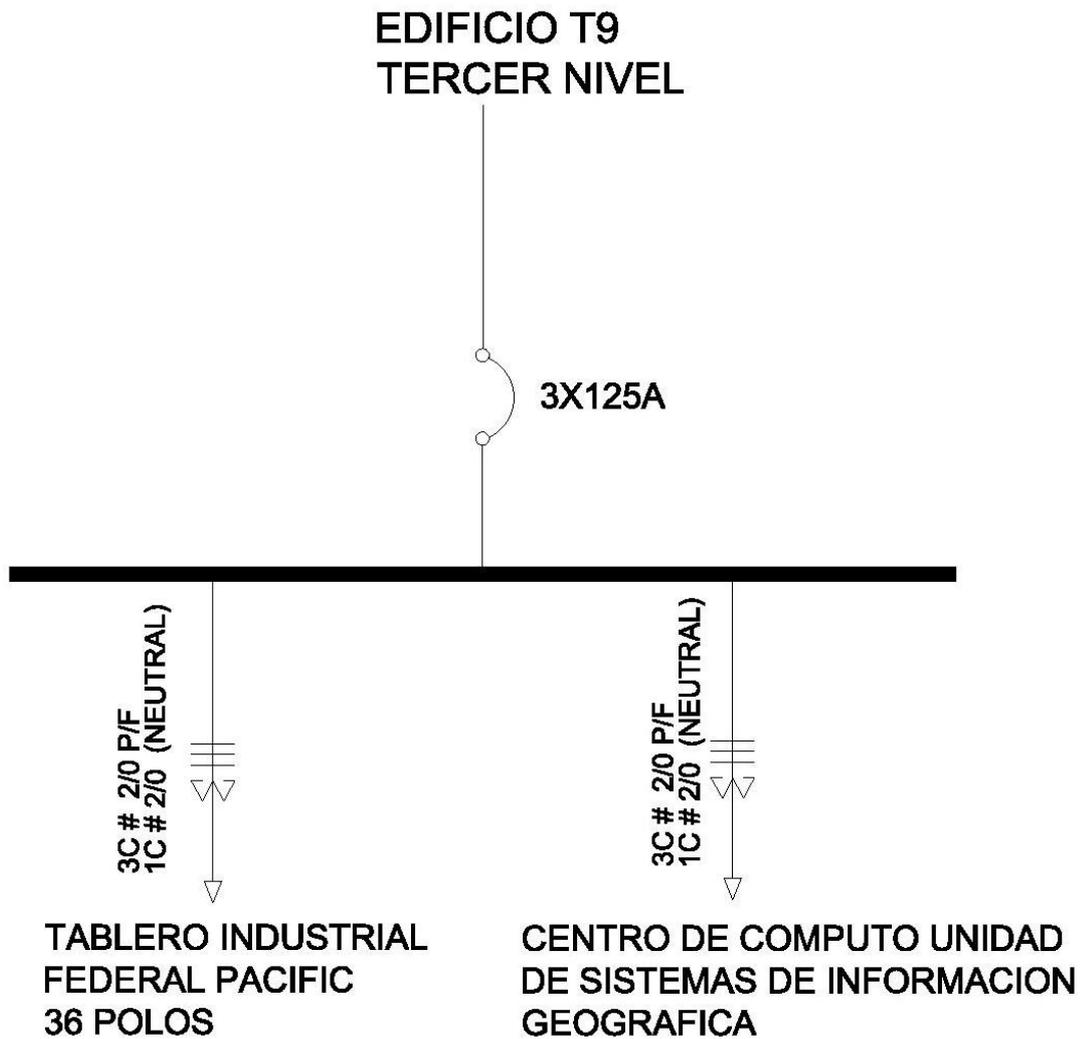
En la figura 27 muestra el diagrama unifilar de la distribución de sus cargas como lo son la iluminación y fuerza del segundo nivel. En la figura 28 muestra el diagrama unifilar de la distribución de sus cargas como lo son la iluminación y fuerza del primer nivel.

Figura 23. Diagrama unifilar acometida principal edificio T9



Fuente: Edificio T9, Campus Central Universitario

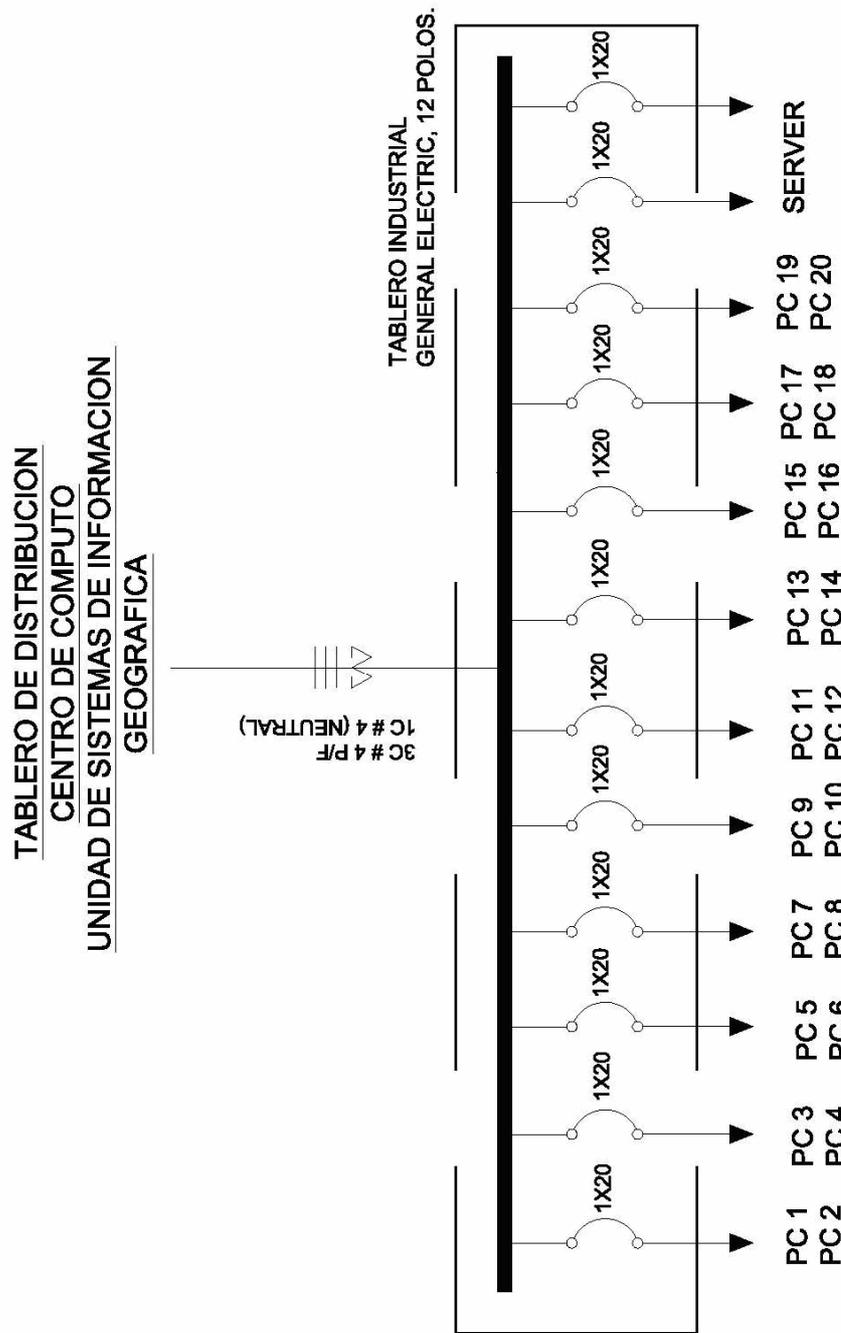
Figura 24. Diagrama unifilar del tercer nivel del edificio T9



Fuente: Edificio T9, Campus Central Universitario

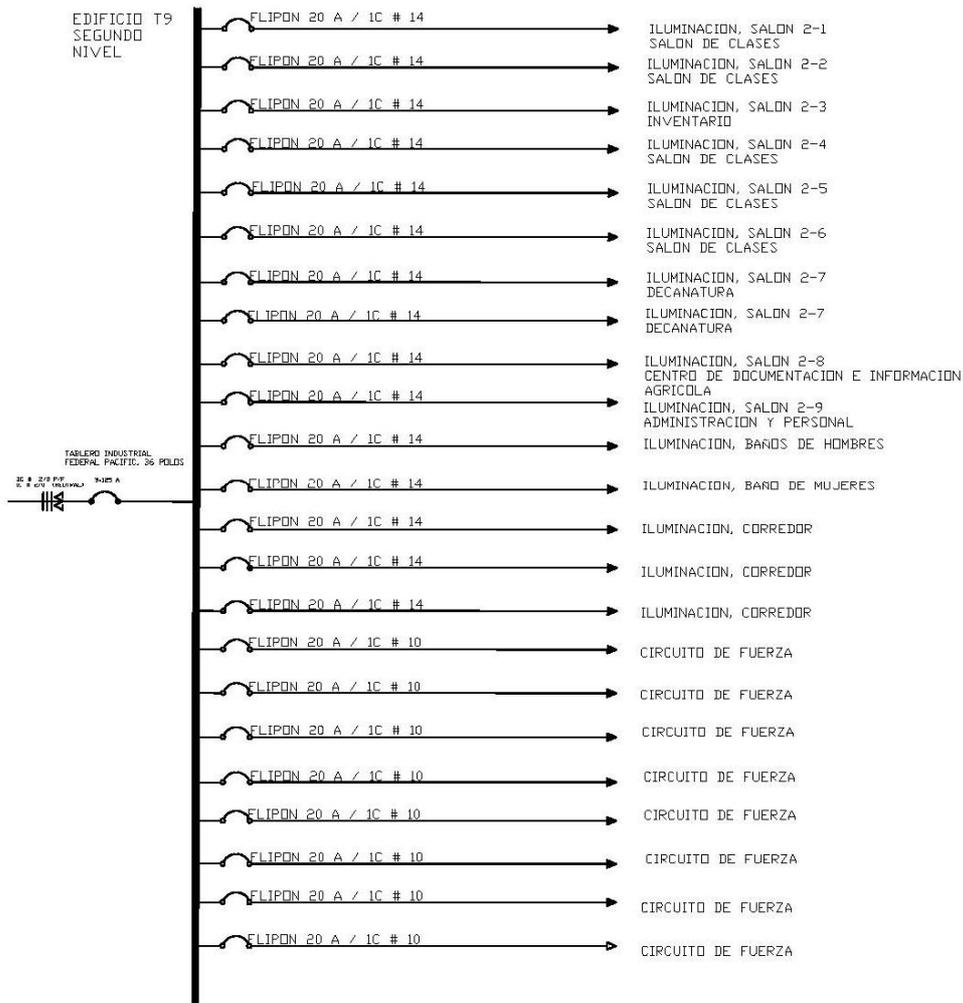


Figura 26. Diagrama Unifilar del centro de cómputo de la unidad de sistema de información geográfica



Fuente: Edificio T9, Campus Central Universitario

Figura 27. Diagrama Unifilar del segundo nivel edificio T9



Fuente: Edificio T9, Campus Central Universitario





## 4 ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

### 4.1 Cálculo de conductores y protecciones

*En el calculo de conductores eléctricos se utilizara calculo por caída de tensión o también se le puede denominar caída de voltaje.*

#### 4.1.1 Cálculo de conductores por caída de voltaje

Se llama caída de voltaje a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando esta circulando la corriente nominal, entonces se tiene;

$$\Delta V = V_A - V_T \quad 4.1$$

Si se expresa como por ciento se le conoce como regulación de voltaje:

$$e = \frac{\Delta V}{V_{no\ min\ al}} \quad 4.2$$

La caída de tensión máxima permitida permitidas por la NEC son expresadas en la siguiente tabla:

Tabla XI. Valores de Regulación de voltaje

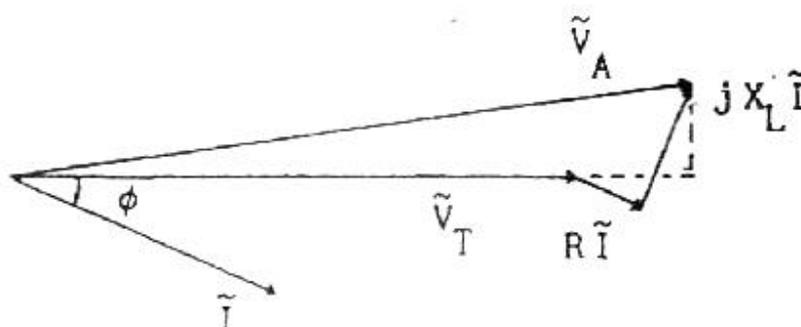
Regulación de voltaje	Observaciones
3%	Para el circuito alimentador o principal
3%	Para circuito derivado
5%	Para que los dos circuitos no sobrepasen la tolerancia indicada

Fuente: Eduardo Campero Littlewood, **Instalaciones Eléctricas. Conceptos básicos y diseño**, Pág. 86-87

Si se considera la transmisión de cierta potencia, a través de un alimentador que contenga resistencia y reactancia (inductiva o capacitiva), se puede construir un diagrama fasorial mostrado en la figura.

$$\tilde{V} = V_t + R \cdot \tilde{I} + j \cdot X_L \cdot \tilde{I} \quad 4.3$$

Figura 29. Diagrama Fasorial



Fuente: Eduardo Campero Littlewood. **Instalaciones eléctricas. Conceptos básicos y diseño**, Pág. 75

En el caso de alimentadores caracterizados por una reactancia capacitiva se deben cambiar a la siguiente formula y por ende cambia el dibujo.

$$j \cdot X_L \cdot \tilde{I} \quad \text{Por} \quad -j \cdot X_C \cdot \tilde{I}$$

Debido a que:

$$\Delta V = |V_A| - |V_T|$$

Es una cantidad bastante pequeña se acostumbra tomar solamente las componentes proyectadas sobre el voltaje de terminal de tal forma que:

$$\Delta V = V_A - V_T = R \cdot I \cos \phi + X_L \cdot I \sin \phi \quad 4.4$$

El valor de la componente reactiva depende de la distancias de separación entre los conductores y del tipo de forro, por lo que su valor debería calcularse para cada alimentador. Sin embargo para baja tensión y en calibres hasta de 4/0 AWG, la componente reactiva es bastante pequeña comparada con la resistiva, por lo que puede despreciarse.

En estas condiciones se puede expresar la regulación de voltaje en términos de la Ley de Ohm.

$$\Delta V = R \cdot I = \rho \frac{L \cdot I}{S} \quad 4.5$$

Combinando la ecuación 4.2 y 4.5 se resulta:

$$S = \rho \frac{L \cdot I}{e \cdot V} \cdot 100 \quad 4.6$$

Agregándole un factor c se obtendrá el resultado final que será:

$$S_{cu} = \frac{\rho \cdot c \cdot L \cdot I}{e \cdot V} \quad 4.7$$

Donde:

S = Área o sección transversal (conductora del alimentador) en m.m.<sup>2</sup>

$\rho$  = Resistividad específica del material conductor en (ohms\*m.m.<sup>2</sup>/m.).

I = Corriente de carga en Amperios.

L = Longitud del alimentador en metros.

e = Caída de voltaje permitida en por ciento.

V = Voltaje aplicado en Voltios (normalmente el voltaje nominal).

c = para circuitos monofásicos y bifásicos c = 2 (debido a que existe un hilo de retorno); para circuitos trifásicos c =  $\sqrt{3}$  ya que el voltaje nominal corresponde al voltaje entre fases.

Realizado el anterior análisis para aplicarlo al estudio teórico del conductor de las instalaciones de los edificios S8 y T9 se van a considerar dos partes importantes en la instalación eléctrica y serán; el circuito de iluminación y el circuito de fuerza (tomacorrientes).

Para analizar el circuito de iluminación se tendrá como dato importante que las luminarias a utilizar son las mismas en los dos edificios, y que los salones de clase son todos casi de las mismas dimensiones y por ende se ha visualizado que tienden la misma cantidad de luminarias. Para empezar el análisis teórico se tendrá como dato los siguientes:

- Área del salón más grande de 9X9.5 mts.
- Cantidad de luminarias 16 tipo rapid star de 40 watts.
- Voltaje nominal de 120 voltios.
- Regulación de voltaje del 3%

Aplicando la fórmula 4.7 para el cálculo de la sección transversal y dejándolo en función de su potencia instalada y de su longitud se tiene se tiene que:

$$S_{cu} = 0.0000812PL$$

Asumiendo una potencia máxima de cada salón dada por los datos anteriores se tiene:

$$S_{cu} = 0.103964L$$

Ahora bien, en el diseño de instalación de carga no establecida que va alimentarse por medio de los tomacorrientes se sabe que, la alimentación se hará por medio de tomacorrientes comerciales con capacidad de 15 A y que el calibre de su conductor según norma no puede ser mayor que el 12 por el orificio de sujeción que tiene el mismo y pensando en una su carga máxima que puede ser por oficina de 1100 watts, requiriendo 4 unidades por ambiente de trabajo y calculando a una distancia mayor obtenida, se obtendrá el resultado que se detalla en las siguientes tablas que serán aplicadas para cada edificio S8 y T9. Para el cálculo de la protección de los circuitos eléctricos de iluminación y fuerza van diseñado de acuerdo a la consideración de que se tendrá que tomar como factor un 85% la corriente que pase por el conductor para proteger el circuito y a la vez el conductor.

Tabla XII. Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del primer nivel edificio S8

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)	Circuito de iluminación/fuerza
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios	
Circuito 1	20	960	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 2	25	960	1.95	12	20	ILUMINACION
Circuito 3	32	1280	3.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 4	31	960	2.42	12	20	ILUMINACION
Circuito 5	40	960	3.12	12	20	ILUMINACION
Circuito 6	20	960	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 7	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 8	55	720	3.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 9	35	720	2.05	12	20	ILUMINACION
Circuito 10	38	720	2.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 11	44	720	2.57	12	20	ILUMINACION
Circuito 12	15	960	1.17	12	20	ILUMINACION
Circuito 13	22	960	1.71	12	20	ILUMINACION
Circuito 14	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 15	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 16	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 17	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 18	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 19	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 20	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 21	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 22	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 23	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 24	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 25	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 26	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 27	40	1100	3.57	12	20	FUERZA

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apendice A

\*El voltaje nominal referencia es de 120 voltios.

**TABLA XIII. Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del segundo nivel edificio S8**

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)	Circuito de iluminación/fuerza
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios	
Circuito 1	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 2	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 3	32	960	2.49	12	20	ILUMINACION
Circuito 4	31	960	2.42	12	20	ILUMINACION
Circuito 5	20	960	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 6	40	480	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 7	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 8	50	720	2.92	12	20	ILUMINACION
Circuito 9	34	720	1.99	12	20	ILUMINACION
Circuito 10	38	720	2.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 11	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 12	30	1090	2.66	12	20	ILUMINACION
Circuito 13	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 14	30	1090	2.66	12	20	ILUMINACION
Circuito 15	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 16	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 17	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 18	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 19	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 20	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 21	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 22	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 23	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 24	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 25	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 26	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 27	40	1100	3.57	12	20	FUERZA

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apéndice A

\*El voltaje nominal referencia es de 120 voltios.

Tabla XIV. Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del primer nivel edificio T9

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)	Circuito de iluminación/fuerza
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios	
Circuito 1	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 2	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 3	32	1280	3.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 4	31	960	2.42	12	20	ILUMINACION
Circuito 5	20	240	0.39	12	20	ILUMINACION
Circuito 6	40	480	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 7	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 8	50	720	2.92	12	20	ILUMINACION
Circuito 9	34	720	1.99	12	20	ILUMINACION
Circuito 10	38	720	2.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 11	44	720	2.57	12	20	ILUMINACION
Circuito 12	15	960	1.17	12	20	ILUMINACION
Circuito 13	22	960	1.71	12	20	ILUMINACION
Circuito 14	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 15	30	1100	2.68	12	20	FUERZA
Circuito 16	30	1100	2.68	12	20	FUERZA
Circuito 17	30	1100	2.68	12	20	FUERZA
Circuito 18	35	1100	3.13	12	20	FUERZA
Circuito 19	38	1100	3.39	12	20	FUERZA
Circuito 20	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 21	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 22	40	1100	3.57	12	20	FUERZA

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apéndice A

\*El voltaje nominal referencia es de 120 voltios.

Tabla XV. Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del segundo nivel edificio T9

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)	Circuito de iluminación/fuerza
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios	
Circuito 1	40	960	3.12	12	20	ILUMINACION
Circuito 2	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 3	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 4	31	960	2.42	12	20	ILUMINACION
Circuito 5	32	960	2.49	12	20	ILUMINACION
Circuito 6	40	960	3.12	12	20	ILUMINACION
Circuito 7	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 8	50	720	2.92	12	20	ILUMINACION
Circuito 9	34	720	1.99	12	20	ILUMINACION
Circuito 10	38	720	2.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 11	44	720	2.57	12	20	ILUMINACION
Circuito 12	18	960	1.40	12	20	ILUMINACION
Circuito 13	30	960	2.34	12	20	ILUMINACION
Circuito 14	25	1090	2.21	12	20	ILUMINACION
Circuito 15	30	1090	2.66	12	20	ILUMINACION
Circuito 16	30	1100	2.68	12	20	FUERZA
Circuito 17	30	1100	2.68	12	20	FUERZA
Circuito 18	35	1100	3.13	12	20	FUERZA
Circuito 19	38	1100	3.39	12	20	FUERZA
Circuito 20	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 21	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 22	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 23	40	1100	3.57	12	20	FUERZA

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apendice A

\*El voltaje nominal referencia es de 120 voltios.

**TABLA XVI. Calibre del conductor, protección y asignación del tipo de carga eléctrica del tercer nivel edificio T9**

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)	Circuito de iluminación/fuerza
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios	
Circuito 1	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 2	39	960	3.04	12	20	ILUMINACION
Circuito 3	32	1280	3.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 4	31	960	2.42	12	20	ILUMINACION
Circuito 5	20	240	0.39	12	20	ILUMINACION
Circuito 6	40	480	1.56	12	20	ILUMINACION
Circuito 7	25	1280	2.60	12	20	ILUMINACION
Circuito 8	50	720	2.92	12	20	ILUMINACION
Circuito 9	34	720	1.99	12	20	ILUMINACION
Circuito 10	38	720	2.22	12	20	ILUMINACION
Circuito 11	44	720	2.57	12	20	ILUMINACION
Circuito 12	15	960	1.17	12	20	ILUMINACION
Circuito 13	22	960	1.71	12	20	ILUMINACION
Circuito 14	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 15	30	1090	2.66	12	20	ILUMINACION
Circuito 16	15	1090	1.33	12	20	ILUMINACION
Circuito 17	30	1090	2.66	12	20	ILUMINACION
Circuito 18	35	720	2.05	12	20	ILUMINACION
Circuito 19	38	960	2.96	12	20	ILUMINACION
Circuito 20	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 21	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 22	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 23	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 24	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 25	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 26	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 27	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 28	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 29	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 30	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 31	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 32	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 33	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 34	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 35	40	1100	3.57	12	20	FUERZA
Circuito 36	40	1100	3.57	12	20	FUERZA

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apendice A

\*El voltaje nominal referencia es de 120 voltios.

#### 4.1.1.1 Cálculo de conductores y protección de conexiones especiales

Como conexiones especiales vamos a detallar las siguientes:

- Iluminación externa

Características:

- Potencia 600 watts
- Voltaje 208 voltios (bifásico)

- Bomba de agua

- 5 HP
- 208 – 230 / 480 voltios (trifásico)
- Potencia 3730 watts

Según la ecuación 4.7 se tiene la siguiente tabla siguiente que contiene los valores que darán como resultado el valor de su conductor

Tabla XVII. Conductor y protección de circuito de iluminación externa

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios
Circuito 1	50	600	0.81	12	2 X 20
Circuito 2	100	600	1.62	12	2 X 20
Circuito 3	150	600	2.43	12	2 X 20
Circuito 4	200	600	3.24	12	2 X 20

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apéndice A

\*El voltaje nominal referencia es de 208 voltios bifásico.

Tabla XVIII. Conductor y protección de circuito bomba de agua

Circuito	Distancia	Potencia	Sección transversal del conductor	Calibre del conductor	Protección (flipón)
	metros	watts	mm <sup>2</sup>	AWG	amperios
Circuito 1	75	3730	3.78	10	3 X 30

\*La sección del conductor esta referida a la tabla A-12 del apéndice A

\*El voltaje nominal referencia es de 208 voltios bifásico.

\*Caída de tensión del 3%

\*c =  $\sqrt{3}$

## 4.2 Cálculo de subtableros

Para el análisis del cálculo de subtableros, se hacen dos análisis, el primero será analizar la capacidad de la barra del subtablero, la segunda será el número de polos, para el primer análisis se tiene que calcular la  $I_{\text{diseño}}$  dada como:

$$S_{\text{diseño}} = \frac{\sum (DME)(FD) \times 1.25}{V_{\text{no min al}}}$$

Donde:

DME = Demanda máxima estimada

FD = Factor de demanda

Tomando en cuenta que la corriente calculada puede ser calculada por un voltaje monofásico, y se tiene un sistema trifásico se tendrá:

$$I_{\text{barras}} = I_{\text{diseño}}$$

La siguiente tabla describe el factor de demanda mas utilizados en el presente estudio para el análisis de la corriente de diseño.

Tabla XIX. Factores de demanda

Descripción	Factor de Demanda
Iluminación fluorescente	0.9
Tomacorrientes	0.6
Bomba Hidroneumática	0.4

Fuente: **NEC**, 1992

Para el análisis de los números de polos de los tableros se analiza usando el siguiente criterio:

$$No.Polos = \frac{3}{2} No.polosactuales$$

Se hace necesario conocer que la instalación eléctrica puede sufrir modificaciones en el futuro del análisis de los polos de los tableros de protecciones.

Tabla XX. Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, primer nivel S8

	DME Watts	FD	$\Sigma$ DME*1.25 Watts	VOLTAJE	I <sub>DISEÑO</sub>
luminarias	14300	0.9	16087.5	120	134.1
tomacorrientes	13250	0.6	9937.5	120	82.8
$\Sigma$ TDME			26025	120	<b>216.9</b>

<b>I<sub>barra</sub> = I<sub>diseño</sub></b>	<b>216.9</b>
<b>Numero de polos actuales</b>	<b>27</b>
<b>Numero de polos = 3/2 No. polos actuales</b>	<b>40.5</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>TABLERO DE 42 POLOS TRIFASICO BARRAS DE 225 AMPERIOS</b>

Tabla XXI. Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, segundo nivel S8

	DME Watts	FD	$\Sigma$ DME*1.25 Watts	VOLTAJE	I <sub>DISEÑO</sub>
luminarias	13080	0.9	14715	120	122.6
tomacorrientes	14300	0.6	10725	120	89.4
$\Sigma$ TDME			25440	120	<b>212.0</b>

I <sub>barra</sub> = I <sub>diseño</sub>	212.0
Numero de polos actuales	22
Numero de polos = 3/2 No. polos actuales	33
<b>RESUMEN</b>	<b>TABLERO DE 42 POLOS TRIFASICO BARRAS DE 225 AMPERIOS</b>

Tabla XXII. Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, primer nivel T9

	DME Watts	FD	$\Sigma$ DME*1.25 Watts	VOLTAJE	I <sub>DISEÑO</sub>
luminarias	13080	0.9	12050	120	100.4
tomacorrientes	14300	0.6	8800	120	73.3
$\Sigma$ TDME			20850	120	<b>173.8</b>

I <sub>barra</sub> = I <sub>diseño</sub>	173.8
Numero de polos actuales	22
Numero de polos = 3/2 No. polos actuales	33
<b>RESUMEN</b>	<b>TABLERO DE 42 POLOS TRIFASICO BARRAS DE 225 AMPERIOS</b>

Tabla XXIII. Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, segundo nivel T9

	DME Watts	FD	$\Sigma$ DME*1.25 Watts	VOLTAJE	I <sub>DISEÑO</sub>
luminarias	13080	0.9	14340	120	119.5
tomacorrientes	14300	0.6	8800	120	73.3
$\Sigma$ TDME			23140	120	<b>192.8</b>

$I_{\text{barra}} = I_{\text{diseño}}$	<b>192.8</b>
<b>Numero de polos actuales</b>	<b>23</b>
<b>Numero de polos = 3/2 No. polos actuales</b>	<b>35</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>TABLERO DE 42 POLOS TRIFASICO BARRAS DE 225 AMPERIOS</b>

Tabla XXIV. Análisis de la capacidad de las barras y números de polos de los subtableros, tercer nivel T9

	DME Watts	FD	$\Sigma$ DME*1.25 Watts	VOLTAJE	I <sub>DISEÑO</sub>
luminarias	13080	0.9	17000	120	141.7
tomacorrientes	14300	0.6	18700	120	155.8
$\Sigma$ TDME			35700	120	<b>297.5</b>

$I_{\text{barra}} = I_{\text{diseño}}$	<b>297.5</b>
<b>Numero de polos actuales</b>	<b>36</b>
<b>Numero de polos = 3/2 No. polos actuales</b>	<b>54</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>TABLERO DE 42 POLOS TRIFASICO BARRAS DE 300 AMPERIOS</b>

### 4.3 Cálculo de conductor principal y flipón general

En la siguiente tabla se mostrara los datos calculados para el conductor principal y flipón principal que alimentara las cargas conectadas a los subtableros tanto de los edificios S8 y T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XXV. **Análisis del conductor principal y flipón general edificio S8**

<b>Circuito</b>	<b>I<sub>diseño</sub></b>	<b>Flipon General</b>	<b>Conductor Principal</b>
Primer Nivel	216.9	3 X 225	4/0
Segundo Nivel	212	3 x 225	4/0

Tabla XXVI. **Análisis del conductor principal y flipón general edificio T9**

<b>Circuito</b>	<b>I<sub>diseño</sub></b>	<b>Flipon General</b>	<b>Conductor Principal</b>
Primer Nivel	173.8	3 X 200	4/0
Segundo Nivel	212	3 X 225	4/0
Tercer Nivel	297	3 x 225	4/0

## 5 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA Y ARMÓNICOS DEL LOS EDIFICIOS S-8 Y T-9 DEL CAMPUS CENTRAL

### 5.1 Calidad de energía

El término "**calidad de energía eléctrica**" se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico.

Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros. Sin embargo, en los últimos diez años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

Los disturbios en el sistema, que se han considerado normales durante muchos años, ahora pueden causar desorden en el sistema eléctrico industrial, con la consecuente pérdida de producción. Adicionalmente, deben tomarse en cuenta nuevas medidas para desarrollar un sistema eléctrico confiable, mismas que anteriormente no se consideraron significativas.

Es importante darse cuenta de que existen otras fuentes de disturbios que no están asociadas con el suministro eléctrico de entrada.

Estas pueden incluir descargas electrostáticas, interferencia electromagnética radiada, y errores de operadores. Adicionalmente, los factores mecánicos y ambientales juegan un papel en los disturbios del sistema. Estos pueden incluir temperatura, vibración excesiva y conexiones flojas.

### **5.1.1 Disturbios en el sistema**

Los disturbios en el sistema son variaciones generalmente temporales en la tensión del sistema. Que pueden causar mala operación o fallas del equipo. La variación de frecuencia puede ocasionalmente ser un factor en los disturbios del sistema, especialmente cuando una carga es alimentada por un generador de emergencia u ocurre un desequilibrio entre la carga de la planta industrial y la generación debido a la pérdida del suministro eléctrico. Sin embargo cuando el sistema eléctrico del usuario está interconectado a una red de potencia relativamente fuerte, la variación de frecuencia resulta a veces de preocupación insignificante.

### **5.1.2 Disturbios por sobretensiones transitorias**

Las sobretensiones transitorias se refieren a variaciones en la forma de onda de tensión. Que dan como resultado condiciones de sobretensión durante una fracción de ciclo de la frecuencia fundamental. Las fuentes comunes de estos transitorios son los rayos, operación de los dispositivos de interrupción de los sistemas eléctricos y el arqueo de conexiones flojas o fallas intermitentes.

### **5.1.3 Disturbios por bajo voltaje momentáneo**

Las caídas de tensión momentáneas de 60 Hz. se han vuelto un problema común en los años recientes, produciendo efectos que van desde el parpadeo de relojes digitales en los hogares hasta procesos industriales interrumpidos. Esta es una condición que típicamente ocurre cuando se inicia una falla en el sistema eléctrico y dura hasta que la falla sea eliminada por un dispositivo de sobrecorriente. La falla puede ocurrir en la planta industrial o en el sistema de la empresa eléctrica. Este tipo de condición puede ocurrir también durante el arranque de motores grandes.

### **5.1.4 Interrupciones de servicio**

La pérdida completa de energía en una instalación es generalmente de un orden de magnitud menos frecuente que un disturbio por voltaje bajo momentáneo. Sin embargo, si la frecuencia es suficientemente significativa, entonces deben tomarse las medidas para tener una fuente alterna disponible en base conveniente.

### **5.1.5 Normas aplicables a la calidad de energía**

Los disturbios en el sistema fueron un factor en el diseño de sistemas de alimentación para computadoras a finales de los 60's y 70's. Sólo en los últimos 5 ó 10 años fue que los controles por computadora se han hecho más comunes.

Consecuentemente, muy pocas normas tratan con la definición de variaciones de tensión de corto tiempo aceptables, pero se ha trabajado para desarrollar normas en esta área. Las normas significativas con respecto a variación de tensión se resumen como sigue:

- Las variaciones de tensión en estado estacionario son definidas por la norma ANSI C84.1. Para tensiones de servicio hasta de 600 V, se espera que la tensión normal de servicio esté dentro de  $\pm 5\%$  de la nominal, con variaciones de tanto como  $+5.8\%$  hasta  $-8.3\%$  para períodos cortos. Las variaciones aceptables para otras tensiones del sistema se dan en la Norma ANSI C84.1.
- La Publicación de Normas NEMA. MG-1 motores y Generadores (Sección-12.45) establece que *"los motores polifásicos de c. a. deberán operar satisfactoriamente bajo condiciones de operación a carga nominal cuando el desbalance de tensión en las terminales del motor no exceda del 1%"*. La sección I-14.5 de la misma norma proporciona una curva de reducción de carga para desbalanceos de tensión mayores: 90% con desbalance de 3% y 75% con desbalance de 5%. No se recomienda la operación de motores para desbalances de tensión de más de 5%. La Norma ANSI C84.1 recomienda que *"los sistemas de suministro eléctrico deberán estar diseñados y operar para limitar el desbalance máximo de tensión al 3 % cuando se mida en el medidor de la empresa eléctrica, bajo condiciones sin carga. "*
- Los voltajes bajos temporales a frecuencia fundamental, las cuales llegan a caer a un 88.3% de lo especificado por la Norma ANSI 84. 1, pueden dar como resultado la interrupción de la operación de algún equipo.

## 5.2 Armónicos

En un sistema de potencia ideal, el voltaje que abastece a los equipos de los clientes, y la corriente de carga resultante son perfectas ondas sinusoidales. En la práctica, sin embargo, las condiciones nunca son ideales, tan así que estas formas de onda se encuentran frecuentemente muy deformadas. Esta diferencia con la perfecta onda sinusoidal, se expresa comúnmente desde el punto de vista de la distorsión armónica de las formas de onda del voltaje y de la corriente.

La distorsión armónica en los sistemas de potencia no es un fenómeno nuevo. Esfuerzos para limitarlo a proporciones aceptables ha sido el interés de ingenieros de potencia desde los primeros días de los sistemas de distribución.

Entonces, la distorsión era ocasionada típicamente por la saturación magnética de transformadores o por ciertas cargas industriales, tales como hornos o soldadores de arco. El mayor interés eran los efectos de los armónicos sobre motores sincrónicos y de inducción, interferencia telefónica, y fallas en capacitores de potencia. En el pasado, los problemas de armónicas podían ser tolerados porque los equipos tenían un diseño conservador y las conexiones estrella/delta de los transformadores se usaron juiciosamente.

La distorsión de la sinusoidal fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz., la onda armónica tiene una frecuencia expresada por:

$$f_{\text{harmonics}} = n \times 60 \text{ Hz}$$

Donde: n es un entero.

Los armónicos son caracterizados frecuentemente por un factor de distorsión armónica (DF) definido como:

$$DF = \frac{\sqrt{\text{Sum of squares of harmonic amplitudes}}}{\text{Amplitude of the fundamental}}$$

El factor de distorsión puede usarse para caracterizar tanto la distorsión en las ondas de voltaje como de corriente. Los factores totales de distorsión armónica pueden especificarse para una gama de armónicos tal como el segundo a través del undécimo armónico.

El factor de distorsión también puede ser obtenido para armónicos sencillos o de pequeña magnitud. La distorsión armónica total (THD) es el factor de distorsión que incluye a todos los armónicos relevantes (típicamente tomado como el segundo a través del quincuagésimo armónico).

### **5.2.1 La importancia de los armónicos, en los sistemas actuales.**

Como se mencionó recientemente, los problemas por distorsión armónica no son nuevos ni para las compañías de distribución eléctrica ni para los sistemas industriales.

Hoy día son necesarios ciertos métodos para reducir los armónicos, debido a tres razones principales:

- La proliferación en el uso de los convertidores estáticos de potencia.
- Las resonancias de red han aumentado.
- Las cargas del sistema de potencia son cada vez más sensibles al armónico.

La introducción de convertidores de potencia confiable y eficiente ha ocasionado un aumento elevado en el número de dispositivos generadores de armónicas lo que ha resultado en su dispersión sobre todo el sistema de potencia. El término " convertidor estático de potencia ", como se usa en este texto, se refiere al dispositivo semiconductor que convierte potencia de una frecuencia en potencia de otra frecuencia. Los tipos de convertidores más comunes en la industria son el rectificador, convertidor de potencia AC en DC, y el inversor que convierte de potencia DC a AC.

Además, el problema de los armónicos es agravado frecuentemente por la tendencia actual de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia o regular el voltaje. Debido a que los capacitores se instalan en paralelo con la inductancia del sistema de potencia, entonces puede producirse una condición resonante a la frecuencia dada por:

$$f_{\text{resonant}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Donde:

L = inductancia del sistema de potencia

C = capacitancia del capacitor instalado.

Si una corriente armónica es inyectada (desde un convertidor estático de potencia, por ejemplo) con una frecuencia cercana a la frecuencia resonante, puede entonces circular una alta corriente oscilante, la que podría quemar el fusible de los condensadores y producir voltajes armónicos altos.

Además del aumento en los generadores de armónicas y la resonancia de la red, las cargas y los sistemas eléctricos no se han quedado atrás, y en algunos casos son aun más sensibles a los armónicos. Hay un número de nuevas áreas de interés continuo:

- Computadoras, la computadora controla herramientas, máquinas, y los diversos tipos de controladores digitales los cuales son especialmente susceptibles al armónico, así como también a otros tipos de interferencia.
- El armónicos puede ocasionar daños calentando el dieléctrico en cables subterráneos.
- La medición de reactivos puede ser adversamente afectada por los armónicos.
- Las fallas en bancos de capacitores son frecuentemente ocasionadas por los armónicos.
- Diseños menos conservadores para máquinas de rotación y transformadores, agravan los problemas de calentamiento ocasionados por los armónicos.
- Los armónicos puede ser especialmente problemáticos para los sistemas de comunicación.

Los actuales problemas de armónicos pueden tener más consecuencias serias y generalizadas que en el pasado. Los diseñadores y los proyectistas de sistemas deberían ser capaces de reconocer y evitar o mitigar tales problemas.

### **5.2.2 Los efectos de los armónicos**

Los efectos de los armónicos se dividen en tres categorías generales:

- Efectos sobre el sistema de potencia mismo
- Efectos sobre la carga del consumidor
- Efectos sobre circuitos de comunicación

En el sistema de potencia, las corrientes armónicas son el problema principal, ocasionando recalentamiento y pérdida de vida útil. Esto refiriéndonos a motores o transformadores. El impacto es peor cuando la resonancia de la red amplifica las corrientes armónicas. Los armónicos pueden también interferir en la operación de relees y mediciones.

Los armónicos pueden ocasionar también errores de disparo a los tiristores en equipos convertidores y en instalaciones SVC, inexactitudes en las mediciones, y falsos disparos en los dispositivos de protección. El desempeño de los equipos de los consumidores, tales como controladores de velocidad de motores y fuentes de alimentación de computadoras, puede ser adversamente afectado por los armónicos. Además, las corrientes armónicas que fluyen sobre las líneas de potencia pueden inducir ruido sobre líneas cercanas de comunicación.

La distorsión armónica de voltaje puede ocasionar esfuerzos en el aislamiento de equipos, particularmente en condensadores. Cuando los armónicos deforman el voltaje en el banco de condensadores, el voltaje pico puede ser lo suficientemente alto como para ocasionar una descarga parcial, o efecto corona, dentro de el dieléctrico del condensador. Esto puede producir eventualmente un cortocircuito entre bornes y carcasa y hacer fallar al condensador.

Las corrientes armónicas altas también ocasionan el disparo de fusibles en bancos de condensadores. Esto ocasiona la pérdida de una fuente de alimentación reactiva al sistema, lo que puede ocasionar otros problemas.

### **5.2.3 Las fuentes de Armónicos**

Los armónicos son ocasionados por cargas no lineales conectadas al sistema de potencia. Las cargas no lineales producen corrientes no sinusoidales. Los resistores, inductores, y los condensadores son dispositivos lineales. Cuando se conecta una carga resistiva en el sistema de potencia AC, se obtiene una corriente sinusoidal. Cuando se conecta una carga inductiva, se observan corrientes sinusoidales aunque con fase diferente a la carga resistiva. Hay muchos tipos de cargas no lineales que producen armónicos. La fuente más grande de armónicos son los convertidores. Los convertidores oscilan desde enormes subestaciones inversoras de 1000 MW para líneas HVDC (High Voltage DC) hasta rectificadores de 75 W encontrados en una televisión.

Las otras fuentes no lineales de armónicos incluyen dispositivos de arco tales como hornos de arco, impedancia magnetizante de transformadores, y

luces fluorescentes. La corriente armónica ocasionada por las fuentes no lineales puede ocasionar la distorsión armónica en el voltaje del sistema, lo que puede ocasionar problemas para otros dispositivos.

#### **5.2.4 IEEE 519**

Las normas estadounidenses con respecto a los armónicos han sido agrupadas por la IEEE en la norma 519: IEEE Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia. Existe un efecto combinado de todas las cargas no lineales sobre el sistema de distribución la cual tienen una capacidad limitada para absorber corrientes armónicas. Adicionalmente, las compañías de distribución tienen la responsabilidad de proveer alta calidad de abastecimiento en lo que respecta al nivel del voltaje y su forma de onda. IEEE 519 hace referencia no solo al nivel absoluto de armónicos producido por una fuente individual sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Se debe tomar en cuenta que la IEEE 519 esta limitada por tratarse de una colección de recomendaciones prácticas que sirven como guía tanto a consumidores como a distribuidores de energía eléctrica. Donde existan problemas, a causa de la inyección excesiva de corriente armónica o distorsión del voltaje, es obligatorio para el suministrador y el consumidor, resolver estos problemas.

El propósito de la IEEE 519 es el de recomendar límites en la distorsión armónica según dos criterios distintos, específicamente:

- Existe una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.
- Se establece una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

Es importante notar que la Tabla XXVII muestra únicamente los límites para armónicos impares. IEEE 519 da lineamientos para los armónicos pares limitándolos al 25% de los impares, dentro de la misma gama. El armónico par es el resultado de una onda de corriente asimétrica (con forma diferente a la positiva y negativa) que puede contener componentes DC que saturarán los núcleos magnéticos.

Para equipos de generación, IEEE 519 no discrimina en el tamaño. Los límites son más estrictos por el hecho de que los límites de inyección de armónicos son menores que los mostrados en la tabla.

Tabla XXVII. IEEE 519 Límites en la distorsión de la corriente.

<b>Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 voltios.</b>						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
<b>Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 voltios.</b>						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
<b>Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes &gt; 161,000 voltios.</b>						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.30	0.15	2.5
50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75
Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente						
* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de Isc/Il que presente						
Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común. IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común. TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima. Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50%						

### 5.2.5 Factor K

El factor K es una medida del calentamiento del transformador como efecto de las corrientes armónicas de la carga que alimenta, y se define como a continuación se muestra:

$$\text{factor } k = \sum (i_h)^2 h^2$$

Donde  $i_h$  se define como se muestra la siguiente ecuación

$$i_h = \frac{i_h}{\left[ \sum (i_h)^2 \right]^{1/2}}$$

Donde  $i_h$  es el valor eficaz de la corriente armónica correspondiente al orden h, en valores relativos y la expresión del denominador constituye la corriente eficaz total del transformador.

El factor K es igual al 1.0 para cargas lineales, donde no hay generadores de armónicas; o sea que depende de la carga y cualquier exceso sobre 1.0 indica la presencia de corrientes armónicas. Un transformador diseñado con factor k igual a 1.0 está destinado a alimentar solo cargas lineales, y tal es el caso de los transformadores convencionales.

La corriente eficaz total del transformador, en terminaos del factor k y el factor de perdidas por corrientes de eddy, al combinar las ecuaciones anteriores se define como sigue:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1 + F_{pce}}{1 + kF_{pce}}} p.u.$$

Si la corriente eficaz se expresa en valores relativos, entonces

$$\sum (ih)^2 = 1.0 p.u.$$

Para el cálculo del factor K es importante tomar en cuenta una cantidad suficiente de componentes armónicas, debido a que a medida que la frecuencia de la componente armónica se incrementa decrece su amplitud; pero el orden armónico se incrementa. Es decir, las armónicas de orden alto pueden ser también significativas; por lo que habría que considerar por lo menos hasta la 25ª armónica.

En este ejemplo, que concuerda con el comportamiento de convertidores de 6 pulsos en los cuales las armónicas triples no están presentes, el factor k resulta igual a 8.3

A continuación se muestran dos tablas de cálculo del factor k.

Tabla XXVIII. Factor K

$h$	$I_h$ en p. u.	$(I_h)^2$	$i_h$	$i_h^2$	$i_h^2 h^2$
1	100.000	1.000	0.960	0.922	0.922
3					
5	20.000	0.040	0.192	0.037	0.922
7	14.286	0.020	0.137	0.019	0.922
9					
11	9.091	0.008	0.087	0.008	0.922
13	7.692	0.006	0.074	0.005	0.922
15					
17	5.882	0.003	0.056	0.003	0.922
19	5.263	0.003	0.051	0.003	0.922
21					
23	4.348	0.002	0.042	0.002	0.922
25	4.000	0.002	0.038	0.001	0.922
	<b>Total</b>	<b>1.084</b>		<b>1.000</b>	<b>8.300</b>

Fuente: Francisco J. González López, **Fundamentos teóricos sobre las armónicas**,  
 Pág. 216

En el mercado normalmente se ofrecen transformadores con factor k hasta  $k = 20$  pero los valores normalizados son 1, 4, 9, 13, 20, 30, 40 y 50.

Un transformador con factor k se calcula como un transformador convencional para carga lineal y de acuerdo a los resultados del análisis respectivo se especifica para un factor k.

### **5.3 Instrumento utilizado para la medición de la calidad de energía y armónicos**

Para la medición de todos los parámetros para evaluar la calidad de energía y armónicos se utilizo el analizador de red AR.5

#### **5.3.1 Analizadores de red AR.5**

Los analizadores de la serie AR.5 son instrumentos de medida programable que miden y registran en memoria todos los parámetros eléctricos de la red de alimentación. El aparato esta dotado de tres canales de tensión y tres de corriente y permite, por tanto, la medida de cualquier parámetro relativo a redes trifásicas equilibradas o no.

El aparato muestra los resultados de medida en una pantalla grafica de 160\*160 píxeles, pero al mismo tiempo registra dichos resultados en la memoria interna, organizada en forma de fichero configurable. Los registros pueden incluir valores promedio, máximos y mínimos de tensión, corrientes y potencias, formas de onda, energía acumulada, perturbaciones, etc.

El AR.5 es un instrumento re-programable, a partir de un cartucho exterior de manera que su software puede ser utilizado o modificado a través del canal de comunicación externo.

Esto confiere al aparato una gran flexibilidad para poder cargar en los diversos programas de medida para control energético o control de la calidad de suministro, que se describen a continuación.

### **5.3.2 Programas de medida**

El AR.5 dispone de varios programas de medidas estándar, seleccionables indistintamente durante el arranque del instrumento. En cada uno de dichos programas se puede registrar una serie de parámetros, ya sea de forma periódica en el tiempo o a partir de determinadas condiciones de disparo. La configuración se lleva a cabo mediante menús autoguiados que aparecen en la propia pantalla.

#### **5.3.2.1 Programa de medida estándar**

Programa básico que permite medir tensiones, corrientes, potencias y energía en todas y cada una de las fases y guardar estos datos a intervalos regulares de registro.

El programa permite observar los siguientes parámetros:

- Visualización numérica en pantalla de todos los datos de tensión, corriente, potencia y demás parámetros eléctricos por fase y trifásicos en forma de tabla.
- Visualización gráfica de las formas de onda de los tres canales de tensión y corriente.

- Medir corriente de neutro utilizando cualquier de las pinzas de fase.
- Registro de memoria, a intervalos regulares programables de ficheros de datos tipo A5.M, conteniendo valores promedio, valores máximos y mínimos etc.

Estos ficheros deben tratarse posteriormente en una PC mediante el software AR.5 VISIÓN. El AR.5 equipado con este programa permite efectuar estudios detallados de compensación de energía reactiva, de consumos energéticos y obtener gráficos de valores medios máximos y mínimos de un total de 20 parámetros básicos.

### **5.3.3 Programa de medida de armónicos**

El programa de medida de armónicos contiene todas las funciones del programa estándar de energía indicado anteriormente, más las propias de medida de armónicos, según norma armonizada IEC 61000-4-7 que se describen a continuación:

- Visualización de análisis y registro de armónicos hasta el orden 30 ó 50 (programable).
- Visualización en pantalla grafica de forma de onda, con posibilidad de zoom.
- Visualización en pantalla de los contenidos individuales de armónicos, en forma de diagrama de barras y en forma numérica.
- Permite medir armónicos en la corriente de neutro utilizando cualquiera de las pinzas de fase.

Registro en memoria a intervalos regulares programables de ficheros de datos tipo A5.I, conteniendo todos los datos del fichero de energía más los correspondientes registros de armónicos. Estos ficheros pueden tratarse posteriormente en su PC mediante el software AR.5 VISIÓN.

Los resultados de la medida permiten hacer el diagnóstico de instalaciones con presencia de armónicos y calcular los factores de sobrecarga de condensadores y transformadores. Puede también medirse la sobrecarga de neutro en sistemas desequilibrados y obtener los datos básicos para cálculos de filtros. Otros programas disponibles:

- Programa de medida de flicker: adecuado para detectar y analizar fluctuaciones de tensión.
- Programa de medida de perturbaciones: permite la captura de cambios bruscos de la tensión en forma de impulsos o de huecos debajo de un cierto límite.
- Programa de captura rápida, Fast check: permite la captura de transitorios de corta duración (arranque de motores, etc.) obteniendo registro de todos y cada uno de los ciclos o promedios de un número muy reducido de ellos.

#### **5.3.4 Software para el análisis de redes eléctricas**

AR.5 VISIÓN es un paquete de software que se ejecuta bajo entorno WINDOWS, diseñado para leer, procesar y presentar en forma numérica y/o gráfica los registros obtenidos con un AR.5. Concretamente el software permite comunicar a través de un canal RS-232 y cargar datos de cualquier instrumento de las familias AR.5, QNA y CVM-BP y CVM-BQ de circutor.

### **5.3.5 Funciones básica del software AR.5-VISIÓN**

El software permite dos grandes grupos de funciones el primero es la comunicación con la PC que permite descargar los ficheros almacenados en memoria del instrumento en cuestión y guardarlos en la PC. El segundo es la representación grafica o numérica de los datos para el análisis de los parámetros a medir.

### **5.3.6 Características técnicas del AR.5**

- Alimentación interna: batería 12 volts recargable, autonomía 8 hrs.
- Rango de medición de tensión fase-neutro: 20 a 500 VAC.
- Rango de medición de tensión fase-fase: 20 a 866 VAC.
- Precisión: 0.5% de la escala
- Tensión: 0.5% de la escala
- Corriente: 0.5% de la escala
- Potencias: 1% de la escala
- Capacidad de memoria: 1 Mbyte (30 parámetros cada 5 minutos durante 28 días)
- Período de registro: programable entre 1 segundo a 4 horas.

## **5.4 Mediciones edificio S8 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

En el análisis de las mediciones se destacaran las realizadas al tablero principal que alimenta el edificio S8.

El objetivo principal de la medición realizada y el posterior análisis de los datos es obtener el comportamiento de los parámetros eléctricos principales de la red eléctrica (voltajes, corrientes, potencias, energías factor de potencia y armónicos) para determinar el estado de la misma. El análisis realizado permite a simple vista conocer los problemas que existen y que afectan directamente la eficiencia y la calidad de la energía en las instalaciones así como los dispositivos y maquinaria instalados. Finalmente se presenta las soluciones propuestas y recomendaciones junto con la justificación de las mismas.

### **5.4.1 Desarrollo del proyecto**

La medición se realizo por medio de un equipo analizador de redes marca CIRCUTOR modelo AR.5, el cual registro los parámetros mencionados.

- La configuración utilizada fue la siguiente:

**Período de medición:** 24 horas

**Intervalos de medición** 15 minutos

**Tipo de medición:** DIRECTA

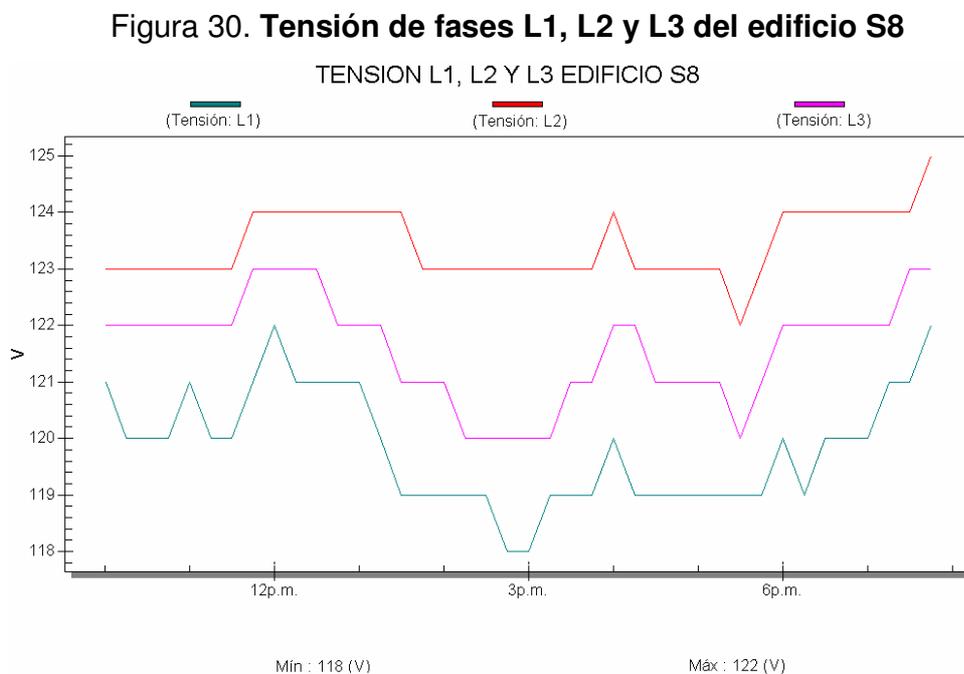
- Los datos de la red son los siguientes:

**Red analizada:** Sistema trifásico balanceado conexión estrella (120/208v.)

## 5.4.2 Resultados

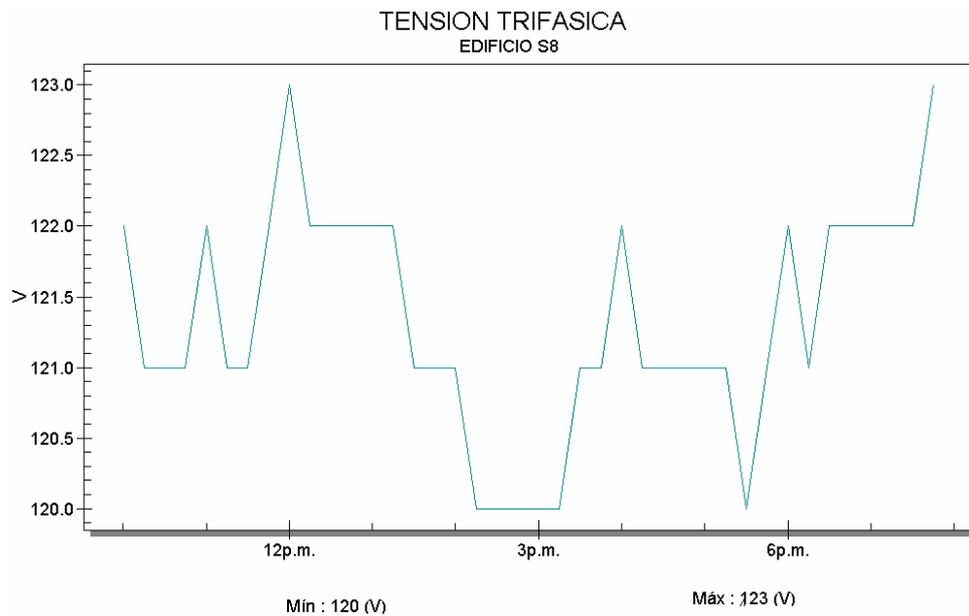
### 5.4.2.1 Análisis de regulación y desbalance de voltaje

De los resultados gráficos de las figuras 30 se puede apreciar que los niveles de voltaje son bastantes uniformes entre si por lo cual existe un desbalance mínimo e insignificante para el equipo que existe conectado. El voltaje visto en grafica 31 hay que multiplicarlos por un factor de 1.73 y nos da un voltaje entre fases correspondiente al mínimo de 205 voltios entre fases y un máximo de 211 voltios entre fases, en un rango del 5%, lo que lo hace estable y muy cercano al voltaje teórico de 208 voltios para una conexión en estrella.



Fuente: Analizador AR.5

Figura 31. Tensión trifásica del edificio S8

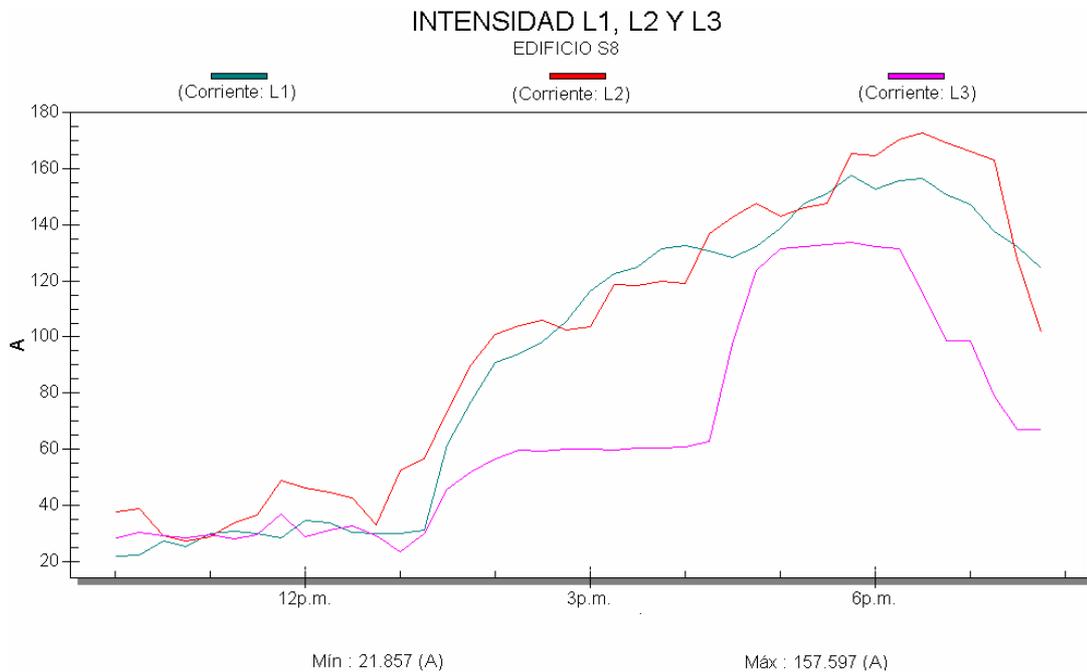


Fuente: **Analizador AR.5**

#### 5.4.2.2 Análisis de desbalance de corriente

De las figuras 32, se puede obtener que en las fases L1 y L2 se mantiene un margen de estabilidad bueno de la corriente entre las dos fases, lo que no es lo mismo para la tensión en L3 que varía su curva de carga con respecto a L1 y L2, por lo que se podría decir que es un sistema desbalanceado.

Figura 32. Intensidad de L1, L2 y L3 del edificio S8



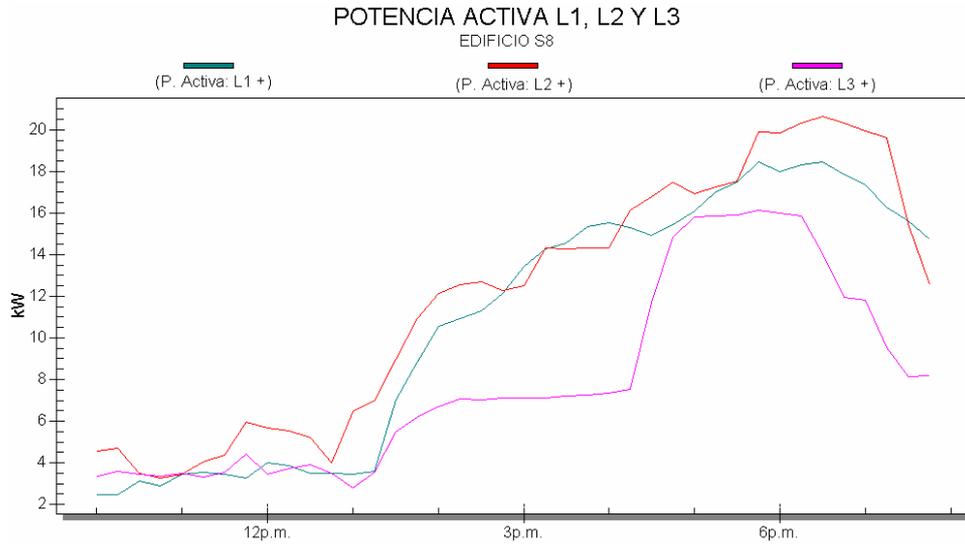
Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.4.2.3 Análisis de la potencia activa

En la figura 33 se nota que la curva de la potencia activa obedece al comportamiento de las curvas de la corriente vistas anteriormente. Los valores de consumo pico básicamente esta entre las 5 p.m. a las 8 p.m.

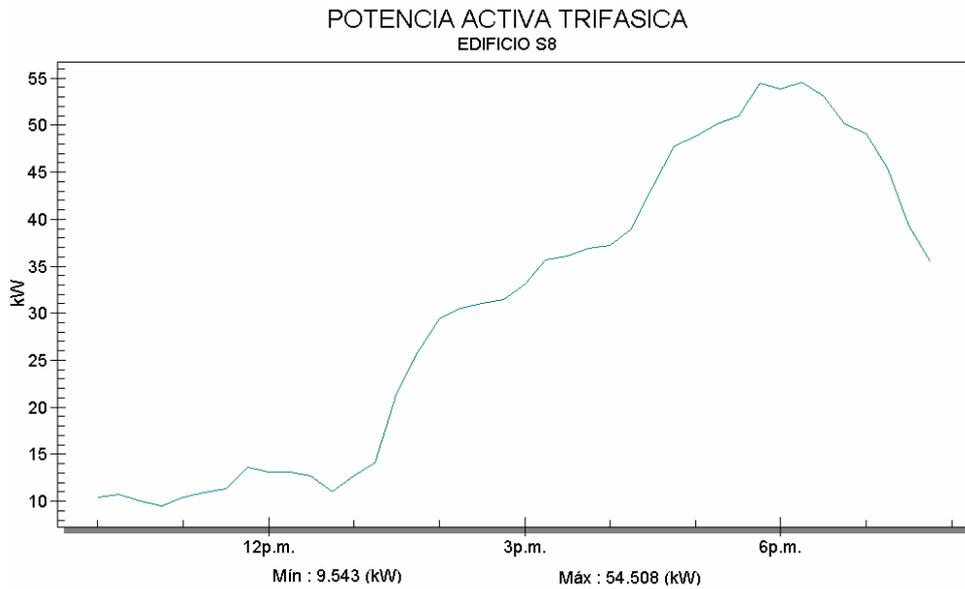
Y en la grafica 34 se nota la suma de las tres potencias dando como resultado la potencia trifásica como un mínimo de 9.5 Kw. y un Máximo de 54.5 kw.

Figura 33. Potencia activa de las fases L1, L2 y L3 del edificio S8



Fuente: **Analizador AR.5**

Figura 34. Potencia activa trifásica del edificio S8



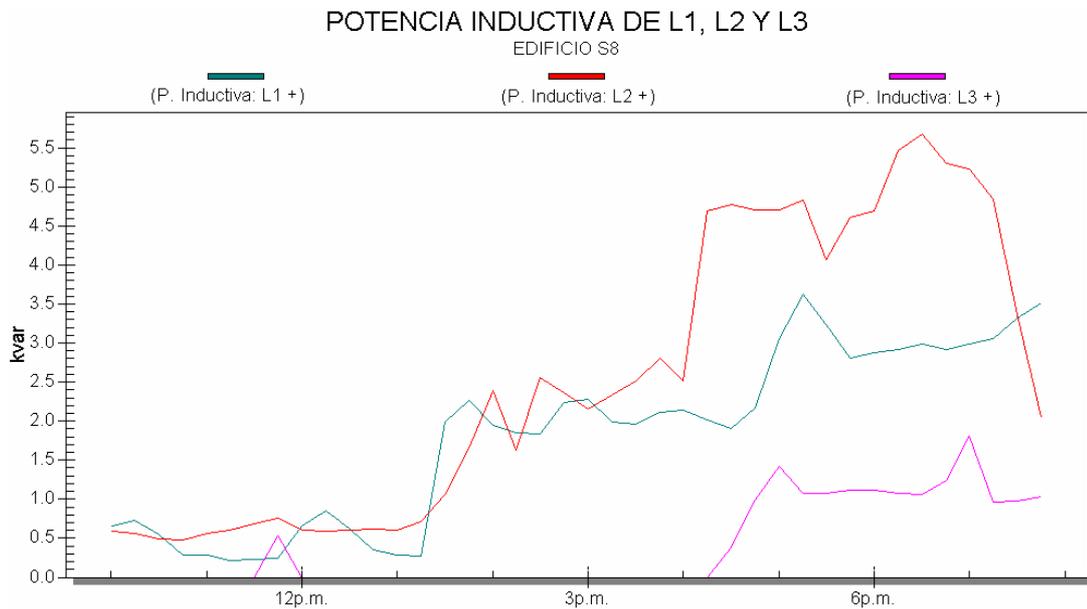
Fuente: **Analizador AR.5**

#### 5.4.2.4 Análisis de la potencia reactiva

De acuerdo al tipo de carga instalada la potencia reactiva puede ser inductiva o capacitiva, en la mayoría de casos existe una mayor carga inductiva que capacitiva, en el análisis de la potencia reactiva inductiva realizada al edificio S8 se encontró un comportamiento no muy lineal en cada fase como lo muestra la figura 35

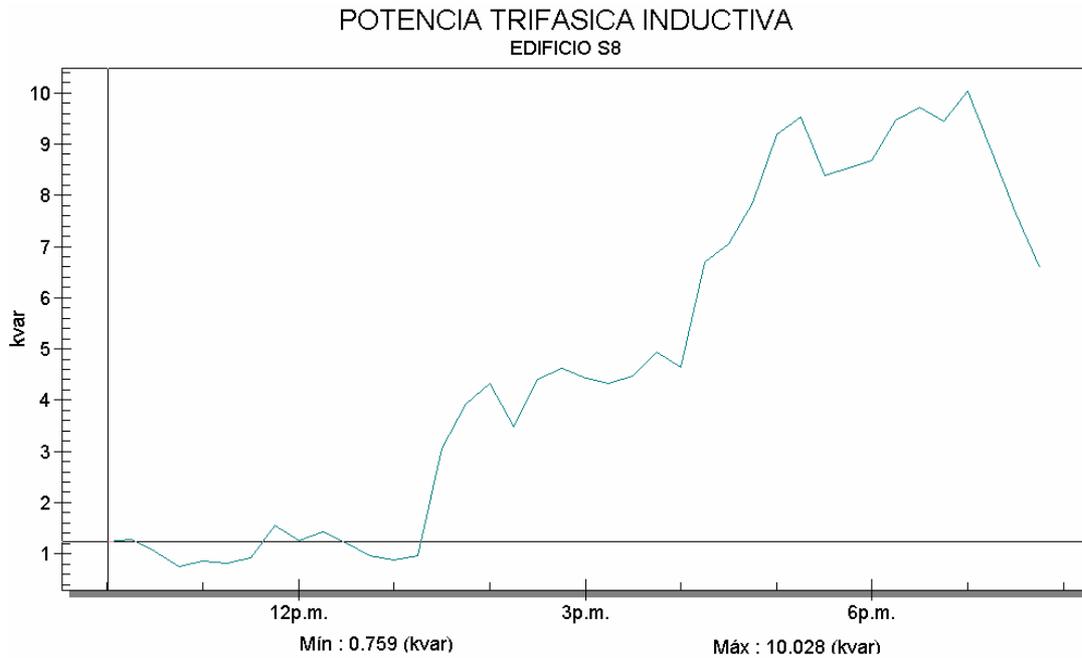
A cambio de la figura 36 que muestra el consumo trifásico de la potencia reactiva inductiva, indicando un mínimo de 0.75 kvar y un máximo de 10.0 Kvar

Figura 35. Potencia inductiva de L1, L2 y L3 del edificio S8



Fuente: Analizador AR.5

Figura 36. **Potencia trifásica inductiva del edificio S8**



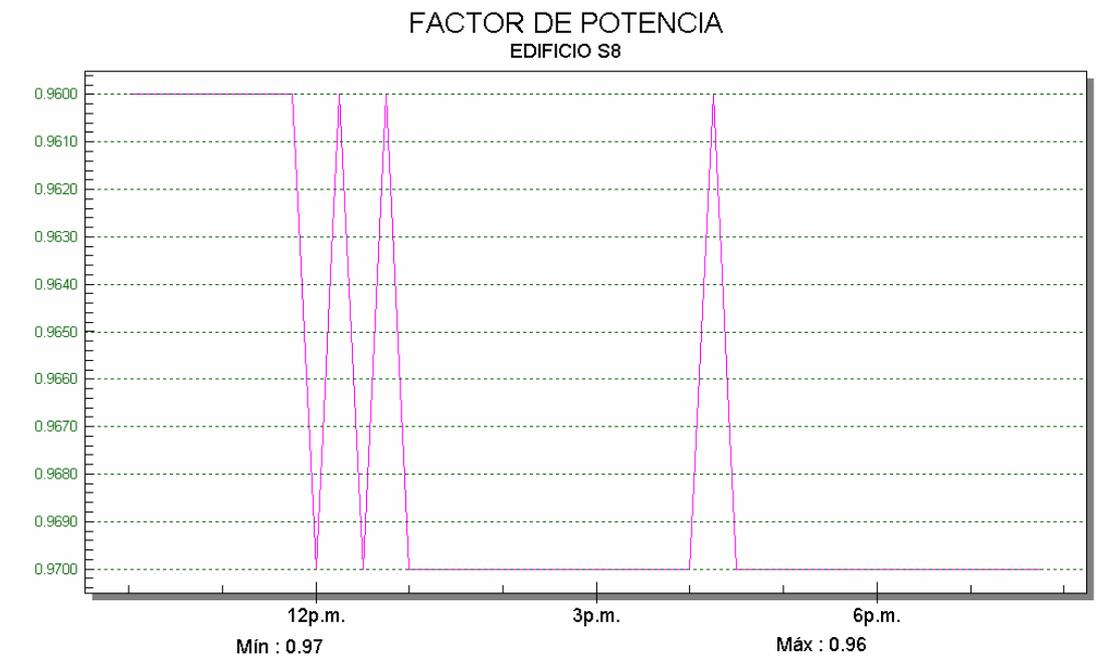
Fuente: **Analizador AR.5**

#### 5.4.2.5 **Análisis de la potencia trifásica y factor de potencia**

Los resultados obtenidos de las potencias trifásicas se muestran en la figura 37. Se puede observar que la potencia activa es mayor que la potencia reactiva, lo cual produce una pérdida sensible de la eficiencia del sistema ya que la potencia reactiva no produce trabajo alguno ni contribuye en la transformación de energía eléctrica a mecánica sino que se transforma únicamente en calentamiento y pérdidas.



Figura 38. **Factor de potencia del edificio S8**

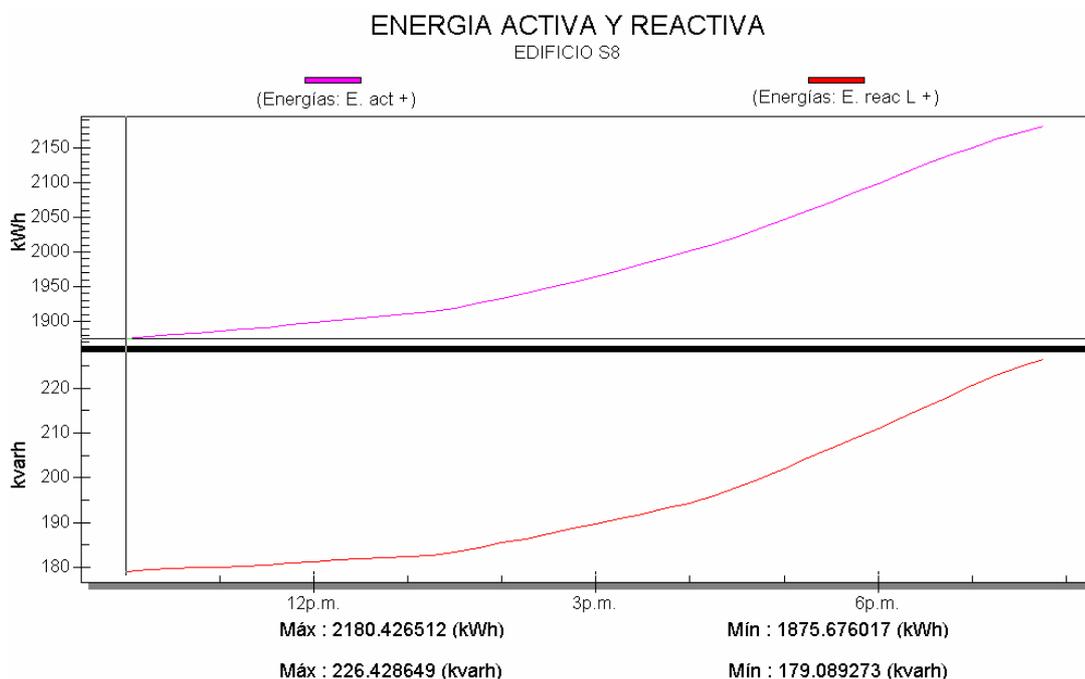


Fuente: **Analizador AR.5**

#### 5.4.2.6 Consumo de energía

El consumo de energía activa y el gasto de energía reactiva que se encontraron en el sistema se muestra en la figura 39. En esta gráfica puede apreciarse al igual que en la de potencias, los Kwh. son de 304 y los kvar son de 47.34 lo que hace que el factor de potencia sea de 0.98, lo cual no genera una penalización del NTSD que exige mínimo un 0.90

Figura 39. Energía activa y reactiva del edificio S8

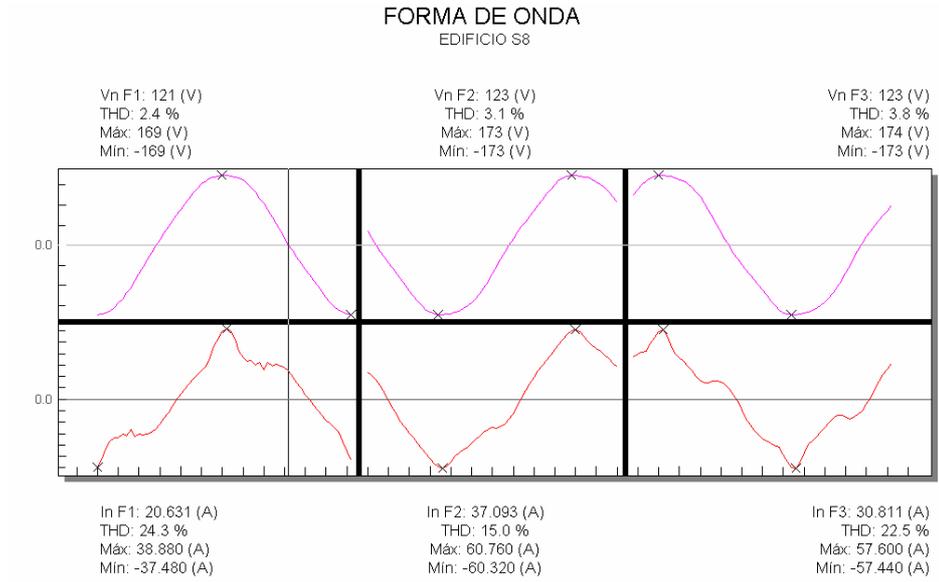


Fuente: Analizador AR.5

#### 5.4.2.7 Análisis de armónicos

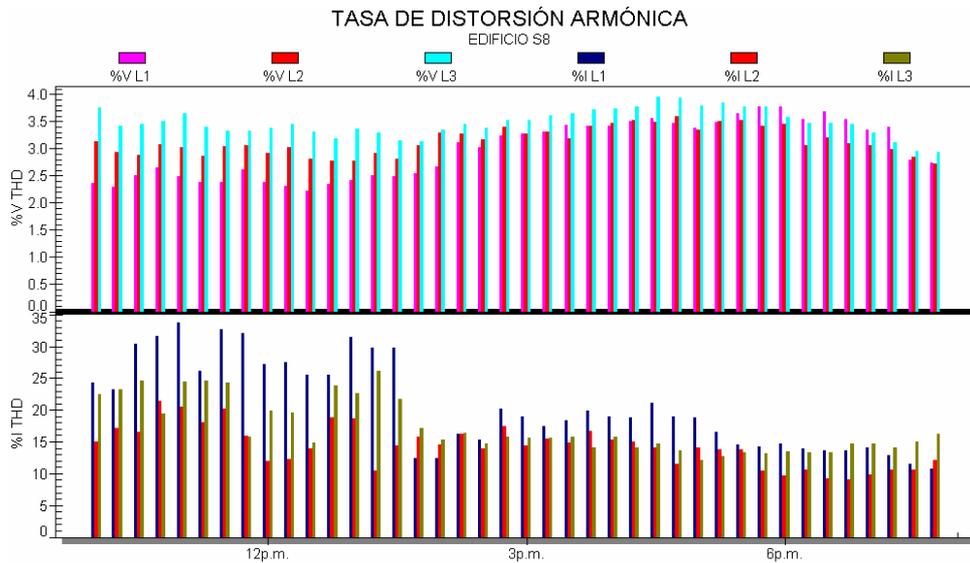
En la figura 40 se notará la forma de onda del análisis de armónicos realizada a las instalaciones del edificio S8 y se visualiza que la forma de onda de la corriente se mantiene distorsionada, lo cual se puede terminar de constituir en el análisis de la tasa de distorsión armónica, con lo que se comprueba que el voltaje está entre el rango del THD menor del 5% y el THD de la corriente es mayor que el 10 %, lo que nos indica una tasa de distorsión armónica para la corriente muy elevada según la gráfica 41.

Figura 40. Forma de Onda del edificio S8



Fuente: **Analizador AR.5**

Figura 41. Tasa de distorsión armónica del edificio S8



Fuente: **Analizador AR.5**

#### **5.4.2.8 Conclusiones**

Luego de finalizar el análisis correspondiente a la medición realizada, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El estado del voltaje es bastante estable y no varía mucho entre fases y de fase a neutro.
- El desbalance de las corrientes es bastante serio en una de las tres fases.
- El estado de la red eléctrica posee un valor de factor de potencia de 0.98 lo que no provoca una penalización del NTSD por parte de la empresa distribuidora.
- La potencia reactiva (Kvar) es relativamente pequeña respecto a la potencia activa (Kw.) lo que provoca el factor de potencia sea óptimo.

#### **5.4.2.9 Recomendaciones**

Al finalizar el análisis se hace necesario lo siguiente:

- Se hace necesario y de importancia hacer un análisis de las cargas y periodos de funcionamiento para poder hacer un balanceo de cargas antes de colocar el banco de capacitores.
- Se hace la recomendación de mantener la carga inductiva no muy elevada para que el factor de potencia no esté fuera del rango y pueda estar en estado de penalización

## 5.5 Mediciones edificio T9 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala

En el análisis de las mediciones se destacaran las realizadas al tablero principal que alimenta al edificio T9.

El objetivo principal de la medición realizada y el posterior análisis de los datos es obtener el comportamiento de los parámetros eléctricos principales de la red eléctrica (voltajes, corrientes, potencias, energías factor de potencia y Armónicos) para determinar el estado de la misma. El análisis realizado permite a simple vista conocer los problemas que existen y que afectan directamente la eficiencia y la calidad de la energía en las instalaciones así como los dispositivos y maquinaria instalados. Finalmente se presenta las soluciones propuestas y recomendadas junto con la justificación de las mismas.

### 5.5.1 Desarrollo del proyecto

La medición se realizo por medio de un equipo analizador de redes marca CIRCUTOR modelo AR.5, el cual registro los parámetros mencionados.

- La configuración utilizada fue la siguiente:

**Periodo de medición:** 48 horas

**Intervalos de medición** 15 minutos

**Tipo de medición:** DIRECTA

- Los datos de la red son los siguientes:

**Red analizada:** Sistema trifásico balanceado conexión estrella (120/208v.)

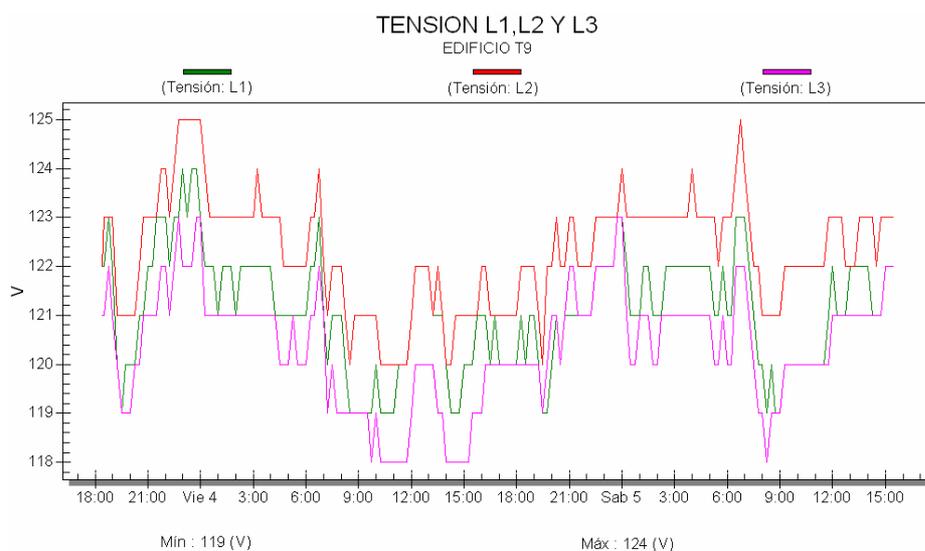
## 5.5.2 Resultados

### 5.5.2.1 Análisis de regulación y desbalance de voltaje

De los resultados gráficos de las figuras 42 se puede apreciar que los niveles de voltaje son bastantes uniformes entre si por lo cual existe un desbalance mínimo e insignificante para el equipo que existe conectado.

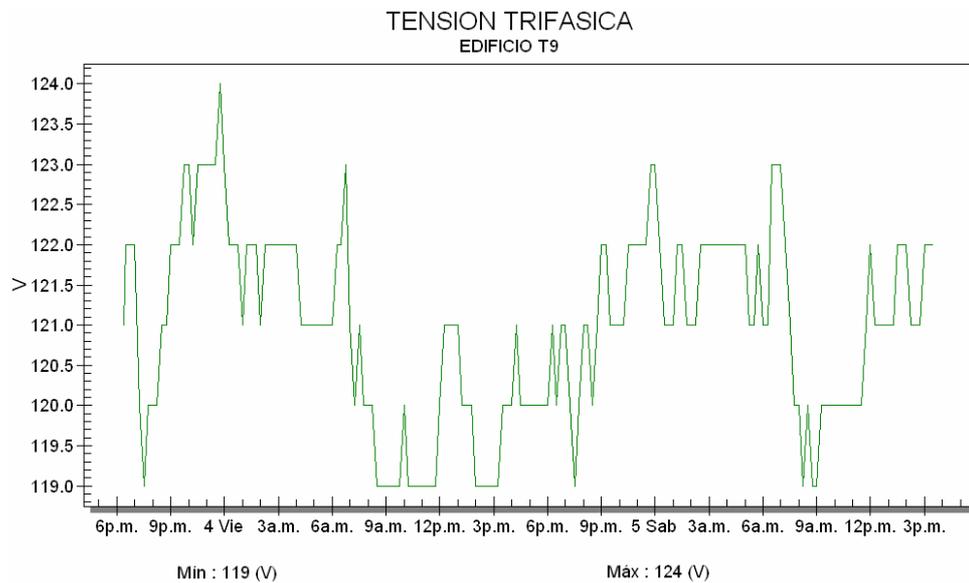
El voltaje visto en grafica 43 hay que multiplicarlos por un factor de 1.73 y nos da un voltaje entre fases correspondiente al mínimo de 205.7 voltios entre fases y un máximo de 214.5 voltios entre fases lo que lo hace estar en un rango del 5%, muy estable y muy cercano al voltaje teórico de 208 voltios para una conexión en estrella.

Figura 42. Tensión de fases L1, L2 y L3 del edificio T9



Fuente: **Analizador AR.5**

Figura 43. Tensión trifásica del edificio T9



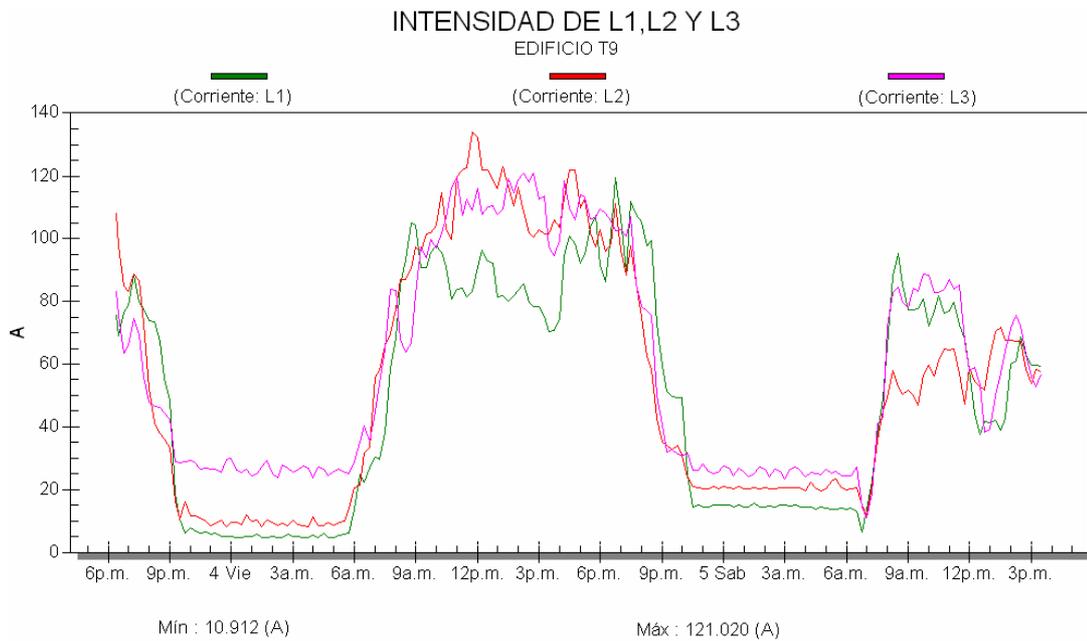
Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.5.2.2 Análisis de desbalance de corriente

De las figuras 44, se puede obtener que en las fases L1 L2 y L3 se mantenga un margen de estabilidad bueno de la corriente entre las tres fases, no habiendo un margen grande de desfase por lo que se podría decir que es un sistema balanceado.

El mayor consumo de corriente eléctrica esta entre las 9 de la mañana y las 8 p.m., muy estable su corriente en las tres fases.

Figura 44. Intensidad de L1, L2 y L3 del edificio T9



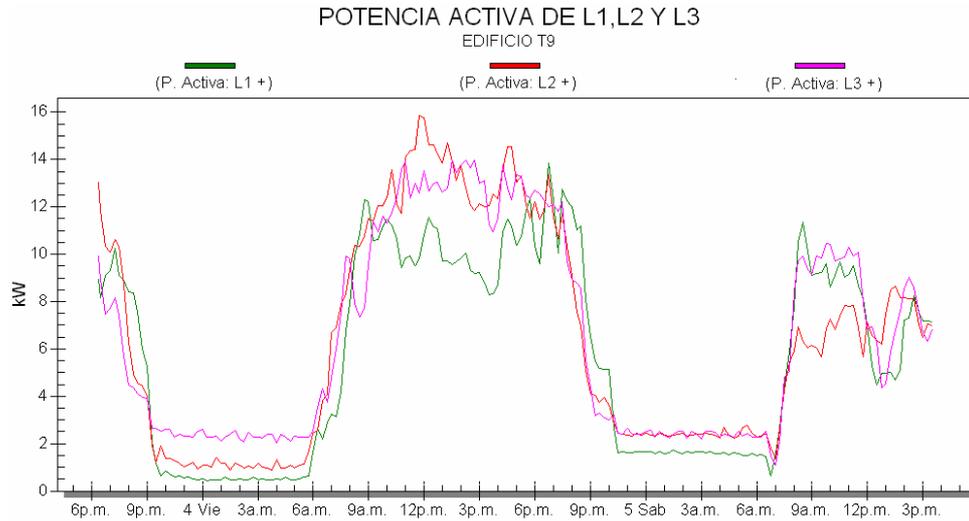
Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.5.2.3 Análisis de la potencia activa

En la figura 45 se nota que la curva de la potencia activa obedece al comportamiento de las curvas de la corriente vistas anteriormente. Los valores de consumo pico básicamente esta entre las 9 a.m. a las 8 p.m. Y en la grafica 46 se nota la suma de las tres potencias dando como resultado la potencia trifásica como un mínimo de 3.4 Kw. y un Máximo de 40.14 Kw.

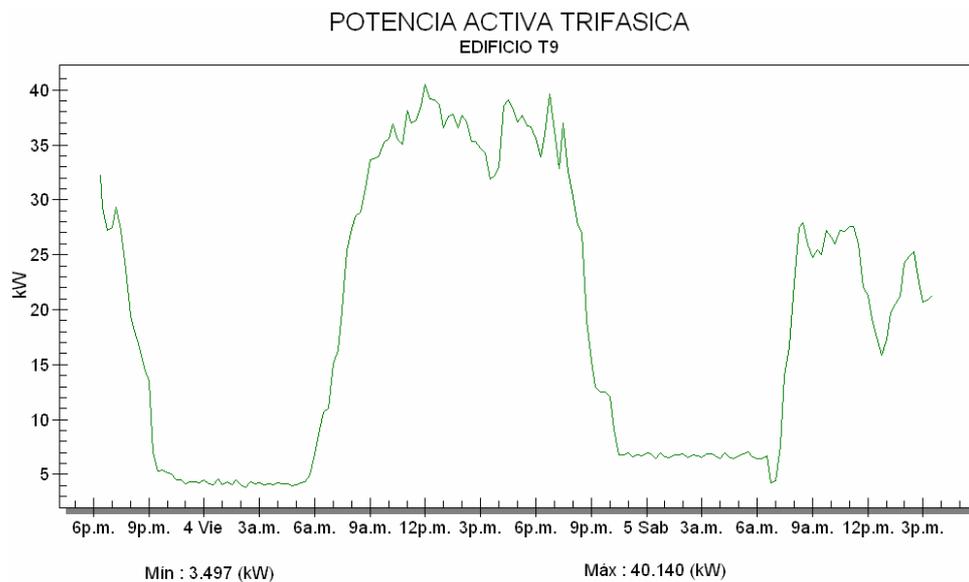
La potencia máxima consumida según la grafica 46 representa un total del 53.33% del total de potencia instalada de los transformadores de 75 Kva.

Figura 45. Potencia activa de las fases L1, L2 y L3 del edificio T9



Fuente: **Analizador AR.5**

Figura 46. Potencia activa trifásica del edificio T9



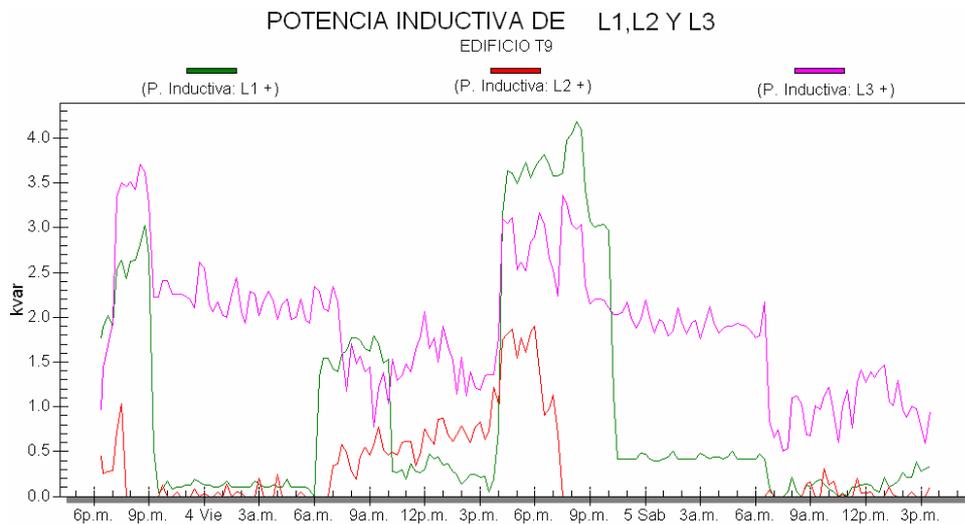
Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.5.2.4 Análisis de la potencia reactiva

De acuerdo al tipo de carga instalada la potencia reactiva puede ser inductiva o capacitiva, en la mayoría de casos existe una mayor carga inductiva que capacitiva, en el análisis de la potencia reactiva inductiva realizada al edificio T9 se encontró un comportamiento no muy lineal en cada fase como lo muestra la figura 47

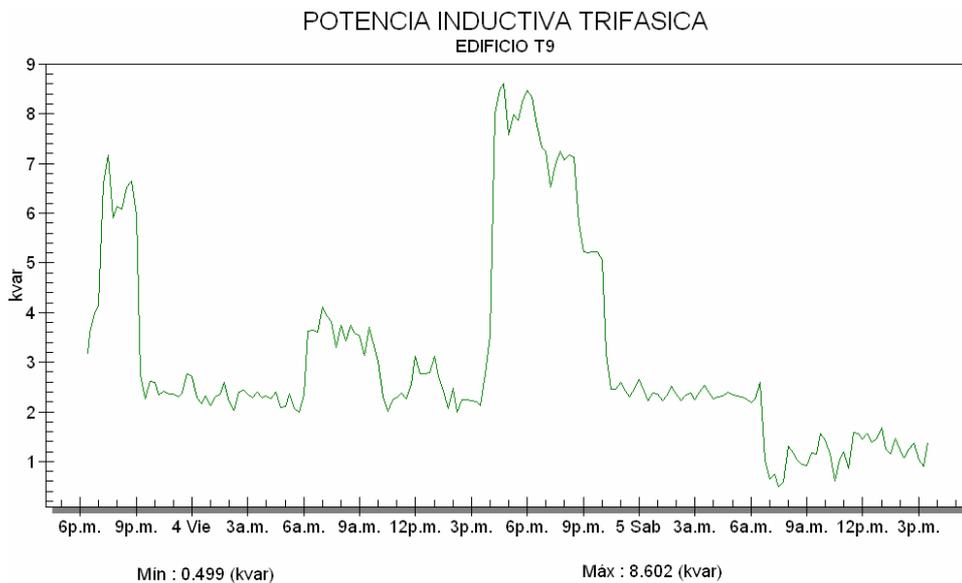
A cambio de la figura 48 que muestra el consumo trifásico de la potencia reactiva inductiva, indicando un mínimo de 0.49 kvar y un máximo de 8.60 Kvar

Figura 47. Potencia inductiva de L1, L2 y L3 del edificio T9



Fuente: Analizador AR.5

Figura 48. **Potencia trifásica inductiva del edificio T9**



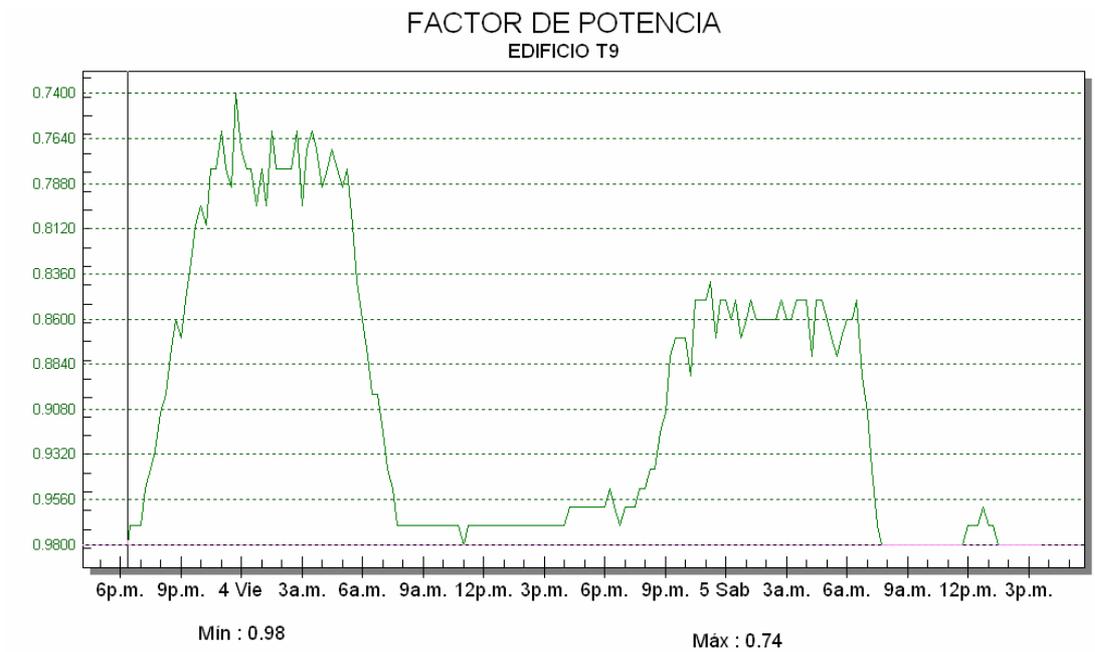
Fuente: **Analizador AR.5**

#### 5.5.2.5 Análisis de la potencia trifásica y factor de potencia

Los resultados obtenidos de las potencias trifásicas se muestran en la figura 49. Se puede observar que la potencia activa es mayor que la potencia reactiva, lo cual produce una pérdida sensible de la eficiencia del sistema ya que la potencia reactiva no produce trabajo alguno ni contribuye en la transformación de energía eléctrica a mecánica sino que se transforma únicamente en calentamiento y pérdidas.



Figura 50. Factor de potencia del edificio T9

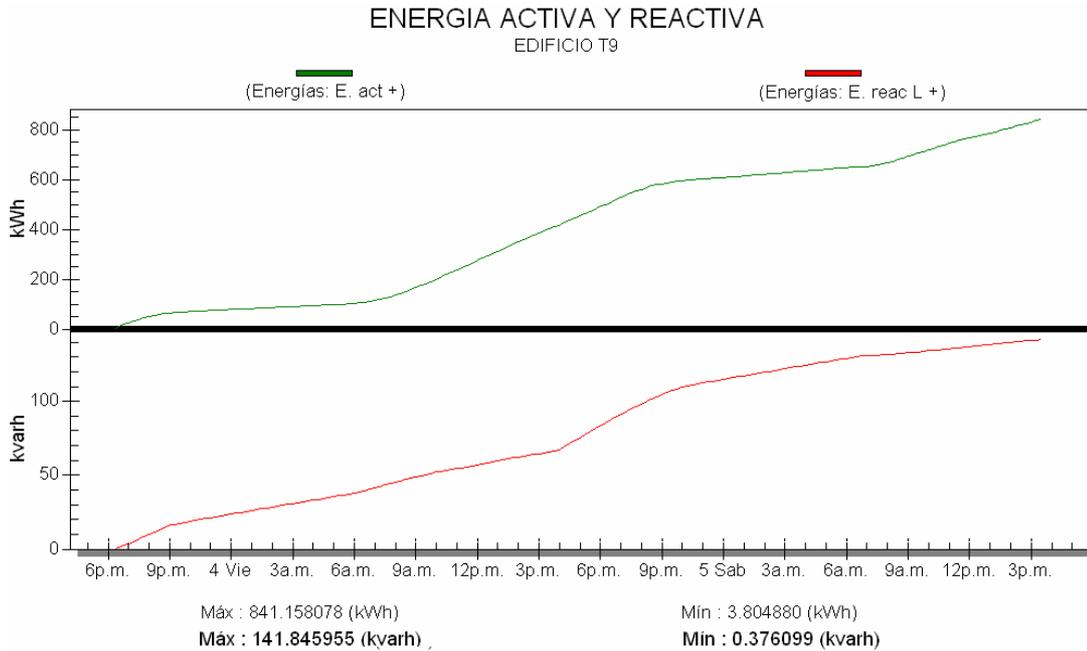


Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.5.2.6 Consumo de energía

El consumo de energía activa y el gasto de energía reactiva que se encontraron en el sistema se muestra en la figura 51. En esta gráfica puede apreciarse al igual que en la de potencias, los Kwh. son de 837 y los kvar son de 140.34 lo que hace que el factor de potencia sea de 0.98 lo cual no genera una penalización del NTSD que exige mínimo un 0.98

Figura 51. **Energía activa y reactiva del edificio T9**

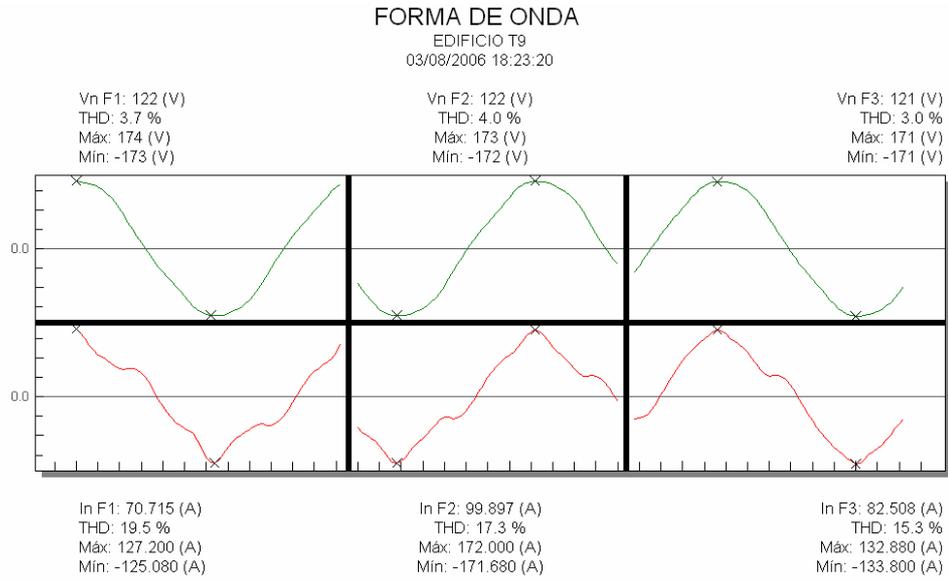


Fuente: **Analizador AR.5**

### 5.5.2.7 Análisis de armónicos

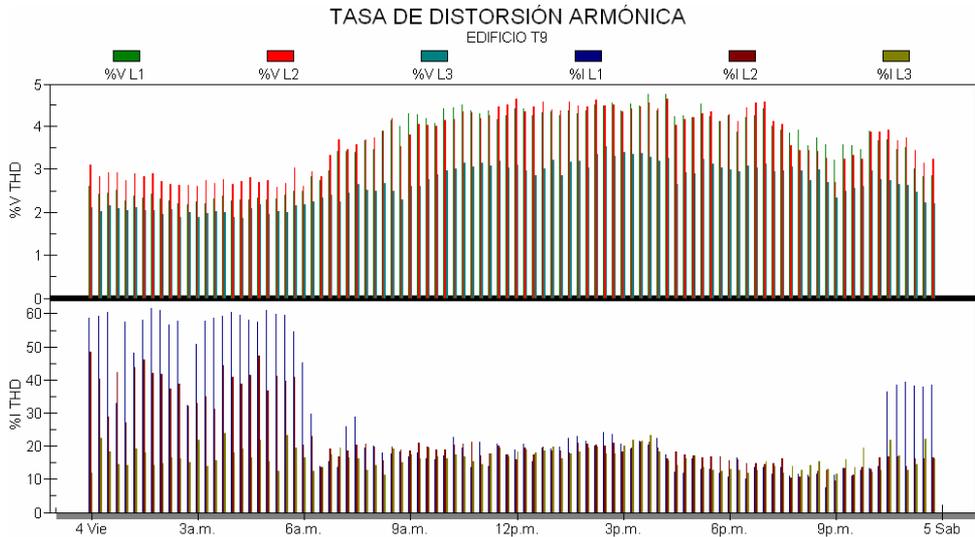
En la figura 52 se notara la forma de onda del análisis de armónicos realizada a las instalaciones del edificio T9 y se visualiza que la forma de onda de la corriente se mantiene distorsionada, lo cual se puede terminar de constituir en el análisis de la tasa de distorsión armónica, con lo que se comprueba que el voltaje está entre el rango del THD menor del 5% y el THD de la corriente es mayor que el 10 %, lo que nos indica una tasa de distorsión armónica para la corriente muy elevada según la grafica 53

Figura 52. Forma de Onda del edificio T9



Fuente: **Analizador AR.5**

Figura 53. Tasa de distorsión armónica del edificio T9



Fuente: **Analizador AR.5**

### **5.5.2.8 Conclusiones**

Luego de finalizar el análisis correspondiente a la medición realizada, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El estado del voltaje es bastante estable y no varía mucho entre fases y de fase a neutro.
- El balance de las corrientes varía en un poco porcentaje las tres fases lo que lo hace estable.
- El estado de la red eléctrica posee un valor de factor de potencia de 0.98 lo que no provoca una penalización del NTSD por parte de la empresa distribuidora.
- La potencia reactiva (Kvar) esta en un nivel bastante representativo lo que provoca que haya un desfase significativo con respecto a la potencia activa (Kw.), y esto provoque un factor de potencia bajo.

### **5.5.2.9 Recomendaciones**

- Se hace necesario y de importancia hacer un análisis de las cargas en horario nocturno donde no hay consumo de potencia activa y si un consumo de potencia reactiva lo que provoca un factor de potencia bajo.
- Se hace la recomendación de instalar un banco de capacitores (capacidad 8 KVAR), para corregir el bajo factor de potencia que existe en ciertos horarios y que sea semiautomático o automático para que pueda compensar según la necesidad que se tenga, debe tener por lo menos 2 etapas de 4Kvar y una de 2 Kvar.

- Los beneficios obtenidos al realizar esto serían:
  - Disminuir los riesgos de operación
  - Evitar sobrecargas en interruptores y cables
  - Rápida recuperación de la inversión debido al ahorro en los costos de generación.

## **6 GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

### **6.1 Conceptos básicos**

La física acepta la convención que el globo terráqueo tiene un potencial eléctrico de cero voltios, en la práctica esto es muy importante, ya que el suelo es considerado como un conductor de la corriente eléctrica, de manera que un conductor conectado a ella pasa a tener el mismo potencial y este es también llamado "TIERRA" (earth, ground). El término MASA es utilizado cuando no se trata de una tierra verdadera, sino de un chasis, un soporte metálico o bastidor.

También es representada comúnmente por las siglas GND o en algunos instrumentos por las letras E o G. En el tendido de cables es indicado con el aislante de color verde, amarillo, verde-amarillo o un cable desnudo.

La instalación de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), permite la protección de las personas y los bienes, contra los efectos de las caídas de rayos, descargas estáticas, señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes de fugas a tierra. Por lo tanto, la ejecución correcta del SPT brinda importantes beneficios al evitar pérdidas de vidas, daños materiales e interferencias con otras instalaciones.

### **6.1.1 Puesta a tierra**

Se le llama sistema de puesta a tierra (SPT), a la unión eléctrica entre todas las masas metálicas de una instalación y por lo menos un electrodo dispensor enterrado en el suelo, con el fin de conseguir una unión con la menor resistencia eléctrica posible entre las masas y la tierra. Si esa unión se realiza sin interposición de impedancia alguna, se dice que es una puesta a tierra directa, en caso contrario sería una vinculación indirecta.

Se entiende por masa a las partes metálicas accesibles de los elementos de la instalación y de los aparatos eléctricos, separados de las partes bajo tensión por su aislamiento funcional. Asimismo, los contactos indirectos son aquellos que se establecen con piezas conductoras (elementos inactivos) que, sin estar normalmente bajo tensión, pueden estarlo por un defecto de su aislamiento. Su peligrosidad está en que los usuarios se acerquen a las masas sin saber que están energizadas.

Con el SPT se busca que las corrientes de falla a tierra encuentren un camino más fácil, que el que ofrecería el cuerpo de una persona que tocara la carcasa metálica bajo tensión. De esta manera, como el SPT tiene una resistencia mucho menor que la del cuerpo humano, la corriente de falla circulará por la red de tierra, en lugar de hacerlo por el cuerpo de la persona.

Las normas de aplicación establecen que, en las instalaciones eléctricas en general se conectarán al SPT:

- Las instalaciones de pararrayos
- Las instalaciones de antenas, tanto de TV como de FM
- Los tomacorrientes y las masas metálicas de baños y cocinas
- Las estructuras metálicas y las armaduras de columnas y muros de hormigón
- Las instalaciones ejecutadas con tubos metálicos de: agua, y calefacción, así como calderas, depósitos, instalaciones de ascensores y montacargas, y en general todo elemento metálico que pueda entrar en contacto con un cable bajo tensión.

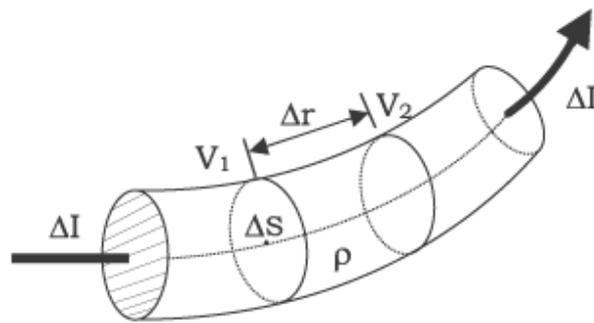
Por este motivo, en los aparatos y en la instalación eléctrica, hay que prever un cable de puesta a tierra que se conecte directa o indirectamente al SPT. En las instalaciones industriales deben realizarse tomas de tierra independientes para las masas metálicas de los aparatos eléctricos, para la conexión de los neutros de los transformadores de potencia y para la conexión de los descargadores o pararrayos.

### **6.1.2 Resistividad eléctrica de los suelos**

Para determinar las condiciones eléctricas bajo las cuales ocurre la conducción de corriente en el suelo, se establece un modelo matemático a partir de:

- Una porción de suelo de sección ( $\Delta s$ ), longitud ( $\Delta r$ ) y resistividad ( $\rho$ ).
- Una diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) en sus extremos, que hace circular una corriente ( $\Delta I$ ).

Figura 54. **Modelo analítico de suelo conductor de resistividad ( $\Delta\rho$ ) homogénea**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

La resistencia ( $R$ ) de un segmento de suelo ( $\Delta r$ ) que se toma como conductor, al ser recorrido por una corriente ( $\Delta I$ ) está dada por la resistividad ( $\rho$ ) del material que lo constituye y la geometría del conductor en la siguiente relación

$$R = \rho \frac{\Delta r}{\Delta s}$$

Por otro lado, según la **Ley de Ohm** la resistencia ( $R$ ) para el mismo segmento, también estará dada por:

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Igualando ambas expresiones de (R) e intercambiando términos se tiene:

$$\frac{\Delta V}{\Delta r} = \rho \frac{\Delta I}{\Delta s}$$

De esto, se obtiene que la intensidad del campo eléctrico (E) en la dirección (r) del suelo se comporte de la misma forma que en el aire o en el vacío; es decir, es conservativo y por lo tanto inversamente proporcional a la superficie de dispersión (ds) de la corriente (dI).

$$-E = \rho J = \frac{\rho I}{2\pi r^2}$$

A partir de este análisis se concluye que las siguientes ecuaciones son válidas para su aplicación en cualquier material puesto que existe un campo conservativo.

La resistividad eléctrica  $\rho$  de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad  $\sigma$  como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material.

A partir de esta ecuación podemos despejar la resistividad:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}$$

Donde  $l = \Delta r$  es la longitud del segmento de suelo que se está analizando.

La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro ( $\Omega \cdot m$ ). La conductividad se define como el inverso de la resistividad.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

La unidad de conductividad en el Sistema Internacional es el siemens (S). La resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión.

Estrictamente hablando, todos los cuerpos son eléctricamente conductores dado que permiten, en mayor o menor medida, el paso de portadores de cargas eléctricas. Estos portadores pueden ser electrones o iones, hecho que permite distinguir entre dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. Los cuerpos con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores. Los cuerpos con conductividad iónica se conocen como electrolitos si no presentan forma gaseosa.

En los metales los electrones de valencia de sus átomos pueden moverse entre la red cristalina que éstos forman, sin estar vinculados a ninguno en particular. La facilidad de movimiento de los electrones y su gran número provocan una conductividad muy elevada. Su resistencia aumenta con la temperatura y con el contenido de impurezas. La resistividad de los metales a temperatura normal varía entre  $10^{-8}$  y  $10^{-7} \Omega \cdot m$ . Son pocos y muy escasos los componentes de la corteza terrestre que posean conductividad metálica.

Entre ellos se cuentan los metales nativos (oro, plata, cobre, estaño, aluminio, etc.) y quizá algún mineral poco abundante como la ullmanita (NiSbS).

Los semiconductores son muchos y de gran importancia práctica. Su resistividad depende de su contenido de impurezas. Además, su conductividad aumenta con la temperatura. Por ello, no se puede representar la resistividad de un mineral con un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios.

En los cuerpos dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados al átomo. Esto puede deberse a que existan enlaces covalentes o iónicos. En este último caso la red cristalina forma un electrolito sólido. La mayoría de los minerales pertenecen a este grupo. A temperaturas normales las resistividades son muy altas, generalmente superiores a  $10^7 \Omega \cdot m$ . Son minerales dieléctricos el azufre, la blenda, la calcita, el cinabrio, el cuarzo, las micas y el petróleo entre otros.

### **6.1.3 Factores que influyen en la resistividad del terreno**

Desde el punto de vista eléctrico, un terreno se caracteriza por su resistividad. Es importante que la resistividad sea lo más baja posible. Puesto que los terrenos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, un terreno dado tendrá una resistividad aparente que promedia los efectos de las diferentes capas que componen el terreno.

La resistividad aparente, no es constante en el tiempo y se ve afectado por varios factores, siendo los principales.

- Naturaleza del terreno
- Humedad
- Temperatura
- Salinidad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales

#### **6.1.3.1 Naturaleza del terreno**

La resistividad varía de un terreno a otro, ya que este, es una composición de rocas, gases, agua y materiales orgánicos e inorgánicos que varía de un lugar a otro. El uso del suelo, como medio conductor de corrientes eléctricas, depende de su conductividad, por lo que requiere de la presencia de sustancias solubles y concentradoras de humedad, que varían según los terrenos y pueden ser mejoradas técnicamente.

Normalmente, el suelo no es buen conductor de la electricidad, sin embargo, la dispersión de la corriente permite una capacidad de conducción aceptable que también es de naturaleza electrolítica y electroquímica, y depende principalmente de la porosidad del material, que contiene la humedad y las sales solubles, y acompaña a otras características como la granulometría, la compactación y la temperatura que controlan su conductividad.

Especialmente tratándose de los estratos superficiales donde las corrientes mayores de 10 A ocasionan por efecto Joule, el incremento local de la resistividad.

A medida que las rocas son más compactas y antiguas, su resistividad aumenta, puesto que sus materiales constituyentes, tales como el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., son prácticamente aislantes. Sólo si la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora. Sin embargo, todas las rocas tienen poros, los cuales están ocupados total o parcialmente por electrolitos, lo que ocasiona que, en conjunto, las rocas se comporten como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros.

Tabla XXIX. **Resistividades referenciales de suelos naturales genéricos**

Tipo de suelo	$\rho$ (Ohm-m)
Limos, arcillas, suelo vegetal y de cultivo	10 - 100
Tierra fina, turbas, concreto húmedo (suelo)	100 - 300
Tierra aluvial, arenas firmes, suelo seco	300 - 800
Arena eólica, lecho de río, cascajo	800 - 3000
Rocas estratificado, fracturadas, monolíticas	3000 - 10000
Suelos de feldespatos, micas, cuarzos	5000 - 30000
Concreto normal exterior (seco)	10000 - 50000

Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

### 6.1.3.2 Estratigrafía

Los suelos tienen conformación estratificada, con capas superpuestas de diferente resistividad, que se han formado debido a los procesos de meteorización, transporte y acumulación de productos sólidos a través de las edades geológicas. Cuando los suelos son planos, las capas son gruesas y laminares (litoral costero, selva baja), y cuando son accidentados son delgados e irregulares (sierra, selva alta).

Figura 55. Perfil geográfico del suelo



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

En ocasiones ocurre que cuando se utilizan picas profundas, se atraviesan varias capas de terreno de naturaleza diferente y, por lo tanto, resistividad diferente. Al medir con el telurómetro la resistividad aparente del terreno, dará un valor medio, de resistividades de cada capa afectada por el espesor de las mismas. A veces ocurre que una sola capa de terreno presenta una resistividad tan baja que hace imperceptible la de las demás. Ejemplo, cuando el electrodo alcanza una zona con agua.

La resistividad de algunos minerales, y de las rocas que estos forman, varía según la dirección de medida que se toma, es decir, que presentan *anisotropía*. La formación de estratos puede producir anisotropía. Tal es el caso de las rocas sedimentarias. En general, este efecto será débil dada la aleatoriedad de las orientaciones de los minerales en la roca.

### **6.1.3.3 Humedad**

La humedad es inversamente proporcional a la resistividad. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar con mayor facilidad mediante la lluvia o el riego del suelo. Diferentes grados de humedad para un mismo terreno darán lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. La humedad facilita la disociación de las sales en iones, que transportan la corriente eléctrica a través del terreno. Si hay más humedad, hay más disociación y mayor movilidad de estos elementos dentro del terreno. La resistividad de las rocas puede variar en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros. El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos  $10^5 \Omega \cdot m$  por lo que se considera como aislante; sin embargo, las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan una conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. En la tabla XXX, se presentan algunos valores de resistividad del agua.

Tabla XXX. **Valores de referencia de la resistividad del agua según su procedencia**

Tipo de agua	$\rho$ (ohm-m)
Meteóricas (lluvia atmósfera limpia)	800 – 1200
Meteóricas (lluvia atmósfera industrial)	30 – 400
Superficiales puras (filtraciones del suelo)	$\leq 3000$
Superficiales salobres (mar y minerales)	$\leq 0.1$
De anomalías geotérmicas	0.03 - 0.3
Subterráneas	1 - 20
Estancadas	30 – 150
Filtraciones rocosas	30 – 1000

Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

#### 6.1.3.4 Temperatura

La resistividad del terreno también depende de la temperatura, pues esta influye notablemente en la resistividad de los fluidos que hay en los poros del suelo y de las rocas. Un descenso de la temperatura provoca un aumento de la resistividad y en el punto de congelación el agua pasa a ser un dieléctrico mal conductor debido a que esta pasa al estado sólido, evitando de esta manera la disociación de las sales y el movimiento de los electrolitos.

La temperatura del terreno es directamente proporcional a la temperatura exterior, pero también depende de la profundidad a la que midamos y del tiempo que permanezcan las bajas temperaturas, puesto que el terreno es un gran almacén de calor y tiene una gran inercia térmica. A -5 °C se puede congelar el agua de una pequeña capa superficial del terreno. Si esta temperatura se mantiene durante muchas horas, el grosor de esta capa irá aumentando progresivamente. Este factor hay que tenerlo muy presente en zonas de sierra o en lugares fríos de la meseta.

#### **6.1.3.5 Salinidad**

A lo largo de los apartados anteriores, se ha visto la gran influencia que tienen las sales sobre el terreno, varían considerablemente la resistividad aparente y llegan incluso a convertir terrenos malos conductores en buenos conductores. Uno de los sistemas más utilizados para aumentar la resistividad del terreno, es añadir sal y posteriormente regar. Los aditivos químicos más conocidos son la sal industrial combinada en capas con carbón, que es la fórmula clásica, y los productos denominados sales higroscópicas o gel. La sal industrial (C1Na) multiplica la conductividad del terreno, el carbón conserva un cierto nivel de humedad y ayuda a que el agua descienda a niveles más bajos, hasta el extremo inferior del electrodo. Las sales higroscópicas, como lo indica su nombre, tienen la cualidad de conservar una mayor cantidad de humedad en el volumen en que están contenidas. Es algo análogo al efecto de una esponja, eso se denomina higroscopía.

#### **6.1.3.6 Variaciones estacionales**

Varios de los factores antes descritos, como son la humedad, temperatura, salinidad, etc., se ven afectados a lo largo del año, debido a las variaciones estacionales y climatológicas, sobre todo en las capas superficiales del terreno. Si se introducen los electrodos a mayor profundidad, las variaciones climáticas afectarán menos al terreno. Por esto, las mediciones del SPT se deben efectuar anualmente en la época más desfavorable, en la que el terreno esté más seco.

#### **6.1.4 El suelo**

El suelo es una mezcla de rocas, gases, agua y materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa también de factores externos (como los mencionados en la sección anterior), que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. Además, cuando se mide la resistividad del terreno en un punto, por cualquier método, el valor que se obtiene es una resistividad media o aparente que promedia el efecto de las diferentes capas que componen el terreno. La evaluación eléctrica de los suelos, se hace basándose en medidas de Resistividad; la información geológica propone tablas genéricas con rangos de referencia, para suelos (Tabla XXIX) y para las aguas que los recargan (Tabla XXX); por otro lado, disponiendo de una muestra «representativa», también se hacen medidas de laboratorio, en ambos casos los datos obtenidos no siempre son correctos. La medición más exacta es la medida de campo, tomando todas las previsiones para que los errores sean mínimos.

### **6.1.5 Tomas de tierra**

La toma de tierra es el elemento de unión entre el terreno y el circuito eléctrico instalado. Esta consta de tres elementos fundamentales que son:

- Electrodo
- Líneas de enlace con tierra
- Puntos de puesta a tierra

#### **6.1.5.1 Electrodo de puesta a tierra**

Son las varillas que se clavan en terrenos más o menos blandos y que sirven para encontrar zonas más húmedas y con menor resistividad eléctrica. Son muy importantes en terrenos sin vegetación y cuya superficie al quedar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca. Los electrodos se fabrican con tubos o varillas de acero galvanizado o bien con varillas de copperweld, debido a su resistencia mecánica y su resistencia a la corrosión. Ahora bien, todo metal convertido en electrodo e introducido en un terreno más o menos húmedo, se corroe debido a las siguientes causas:

- Reacción química entre el agua del terreno y el electrodo
- Ataque de los agentes químicos contenidos en el terreno
- Corrientes eléctricas que atraviesan el terreno
- Corrientes galvánicas

El acero galvanizado, se puede usar en terrenos cuya constitución química no ataque a dicho material.

En terrenos con componentes corrosivos, se utiliza el copperweld, que consiste en una varilla de hierro a la cual se adhiere una lámina de cobre. Este cobre está soldado sólidamente y en forma continua a la varilla de acero. Este material combina las ventajas de la alta conductividad del cobre con la alta resistencia mecánica del acero. Tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión, buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno y se puede conectar a los cables del SPT a través de conectores. Aunque los electrodos más utilizados son los descritos anteriormente, también existen otros tipos de electrodos, que pueden ser: placas, conductores enterrados horizontalmente, tuberías de agua, estructuras de concreto, etc. Estos electrodos se estudiarán con más detalle cuando se hable de los materiales utilizados para construir un SPT.

#### **6.1.5.2 Líneas de enlace con tierra**

Están formadas por los conductores que unen el electrodo, anillo o malla, con el punto de puesta a tierra. Estos conductores son de cobre o de algún otro metal con alto punto de fusión y su dimensionamiento está de acuerdo con alguna de estas premisas:

- La corriente máxima de falla no debe provocar en el conductor y en los empalmes, temperaturas cercanas al punto de fusión del material. Se debe considerar que su duración será un máximo de 2 segundos, pues es el tiempo máximo que las protecciones tardan en operar.
- En ningún caso el área del cable que forma la línea de enlace con tierra debe ser menor de  $35 \text{ mm}^2$  en conductores de cobre o de sección equivalente en otro material.

### **6.1.5.3 Puntos de puesta a tierra**

Está formado por un sistema que permita la conexión y desconexión para poder aislar el circuito de puesta a tierra de la edificación, de la toma de tierra, de modo que se puedan hacer mediciones en ella. En el punto de puesta a tierra es donde se mide el valor de la resistencia de la toma de tierra.

### **6.1.6 Línea principal de tierra**

Es la parte del circuito del SPT, que está formado por conductores de cobre y que se usa para conectar los conductores de protección, la cubierta del equipo de conexión, y el conductor neutro (cuando el sistema esté puesto a tierra), al electrodo. Su recorrido debe ser lo más corto posible y sin cambios bruscos de dirección. Para un SPT tiene que usarse un puente de unión principal sin empalme, para conectar el conductor de protección y la cubierta del equipo de conexión al conductor neutro del sistema. El puente de unión principal deberá ser un conductor, una barra, un tornillo o un conductor similar adecuado. La conexión del conductor principal a un electrodo a tierra debe ser accesible y hacerse de una manera que asegure una puesta a tierra permanente y efectiva. Cuando sea necesario asegurar esta condición para un sistema metálico de tuberías que sea usado como electrodo, se debe hacer un puente efectivo alrededor de todas las uniones y secciones y de cualquier equipo que sea susceptible de ser desconectado para reparaciones o reemplazos, a menos que la conexión sea a un electrodo embutido en concreto o enterrado que no se requiera que sea accesible.

### **6.1.7 Derivaciones de la línea principal de tierra**

Las derivaciones de las líneas de tierra están formadas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas.

### **6.1.8 Conductores de protección**

El conductor de protección debe estar presente en todas las instalaciones de baja tensión, sin importar el esquema de tierra adoptado, y sirve para asegurar la continuidad del circuito de tierra.

En un circuito terminal el conductor de protección une las masas de los equipos y también el terminal de tierra de las alimentaciones de corriente. En un circuito de distribución, el conductor de protección conecta el terminal de tierra del tablero de donde parte el circuito al terminal de tierra del tablero de alimentación del circuito.

En el circuito de puesta a tierra, los conductores de protección unen las masas a la línea principal de tierra. En otros casos, reciben igualmente el nombre de conductores de protección aquellos conductores que unen las masas:

- a otras masas
- a elementos metálicos distintos de las masas
- a un relé de protección

En los suministros de la empresa eléctrica encargada de la distribución del servicio eléctrico en baja tensión, no deberá unirse en ningún lugar el conductor neutro con la red de puesta a tierra del cliente.

## **6.2 Materiales de puesta a tierra**

### **6.2.1 Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra**

Se puede clasificar los materiales que forman el pozo de puesta a tierra, de la siguiente manera:

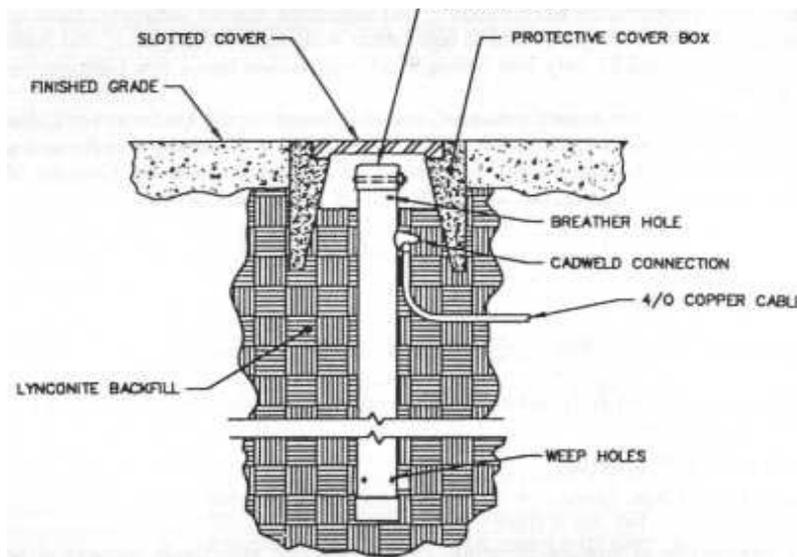
- Material circundante al electrodo
- Elementos químicos para reducir la resistencia de puesta a tierra
- Conectores entre el electrodo y conductor de puesta a tierra
- Protección externa del pozo

La elección e instalación de los materiales debe ser tal que:

- El valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme a las normas de protección y se mantenga la estabilidad de la resistencia.
- Las corrientes de falla a tierra y fuga circulen sin peligro, según sollicitaciones térmicas y electromecánicas.
- La solidez y protección mecánica estén aseguradas, según condiciones estimadas de influencia externa.

Ahora bien, el problema de lograr una resistencia baja en la roca así como en otros suelos de alta resistividad, está asociado con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el pozo. El relleno ideal debe compactarse fácilmente, no ser corrosivo, ser buen conductor eléctrico, y no debe dañar el ambiente, ni perjudicar la vida o la fauna. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio, el sulfato de cobre, o compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM, GAP, etc.) cumple con esos requisitos.

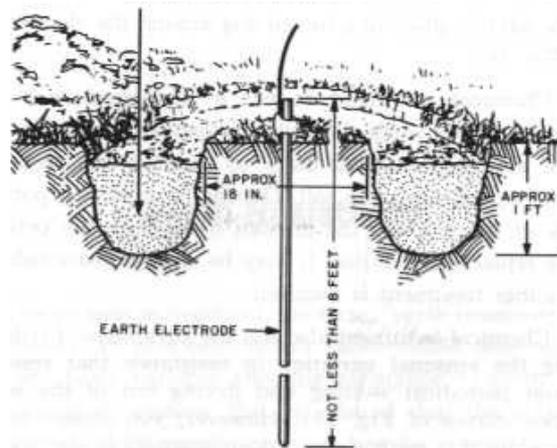
Figura 56. **Varilla electroquímica**



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

Este método es efectivo donde hay poco espacio como en banquetas o estacionamientos.

Figura 57. **Zanja alrededor del electrodo de tierra con compuestos químicos que mejoran la resistividad**



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

El otro método para mejorar la resistividad del terreno, es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40 Kg. de los compuestos químicos mencionados arriba, diluyendo con agua. La primera carga dura unos dos o tres años y, las posteriores aún más, por lo que el mantenimiento es menos frecuente con el tiempo.

Por último, se puede utilizar uno de los cementos puzolánicos gráfiticos conductores (EarthLink 101, etc.) de la siguiente manera: se cubre el cable del electrodo [4/0 AWG] colocado horizontalmente en una zanja de unos 75 cm. de profundidad, con una capa de cemento seco de unos 5 cm. de grueso y 50 cm. de ancho. Con el tiempo, el cemento toma la humedad del suelo y endurece. Este método desarrollado en Japón en los 70s, tiene la ventaja que no requiere mantenimiento, es antirrobo, y por el tipo de material, no se corroen los cables con el tiempo, y, se adapta perfectamente a los lugares donde la capa superficial es poco profunda y de alta resistividad.

## **6.2.2 Conductores de protección**

El conductor de protección debe ser de cobre, resistente a cualquier condición de corrosión o estar adecuadamente protegido contra esta, no debe ser de cobre con aluminio o de aluminio porque este se corroe cuando está en contacto con la tierra o con el cemento, sin embargo, puede ser sólido o cableado, aislado, cubierto o desnudo. El conductor de protección debe ser instalado en un solo tramo, sin uniones ni empalmes, con excepción de las barras colectoras que sí pueden ser unidas.

### **6.2.2.1 Tipos de conductores de protección**

El conductor de protección instalado junto con los conductores del circuito, puede ser uno o más, o una combinación de los siguientes:

- Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor puede ser sólido o cableado; aislado, cubierto, o desnudo; y en forma de un conductor o de una barra colectora de cualquier forma
- Tubería metálica pesada, tubería metálica intermedia, tubo metálico liviano o tubería metálica pesada flexible aprobada para el uso
- Las armaduras y cubiertas metálicas de los cables
- Las bandejas para cables
- Otras canalizaciones específicamente aprobadas para la puesta a tierra

### **6.2.2.2 Sección de los conductores de protección**

Cuando los conductores estén en paralelo y en canalizaciones múltiples, el conductor de protección debe estar en paralelo. La sección de este debe ser dimensionada basándose en la capacidad nominal de corriente de los dispositivos de protección contra sobrecorriente que protegen a los conductores del circuito en la canalización y deberá estar de acuerdo con la Tabla NEC 250-95.

Cuando los conductores se dimensionan para compensar la caída de tensión, los conductores de protección, se deben dimensionar en forma proporcional. Deben considerarse las siguientes excepciones:

- El conductor de protección no menor de 0,75 mm<sup>2</sup> de cobre y no menor que los conductores del circuito, si forma parte integral de un cordón registrado, podrá usarse para los equipos conectados por cordón que deben ser puestos a tierra, cuando el equipo esté protegido por un dispositivo de protección contra sobrecorriente de capacidad nominal menor a 20 A.
- El conductor de protección no necesitará ser mayor que la sección de los conductores del circuito que alimentan el equipo.
- Cuando una canalización o armadura de cable o cubierta es utilizada como conductor de protección.

Este conductor, si es de calibre 4 o mayor, no requiere de protección, excepto en casos donde esté expuesto a daño físico severo. En caso de ser calibre 6 debe fijarse a la construcción o, debe correr por un tubo conduit. Los calibres menores, deben correr siempre por tuberías conduit.

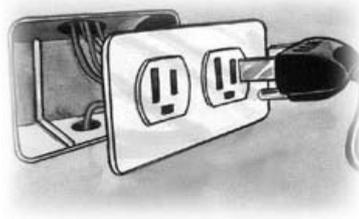
En el caso de las tuberías conduit, éstas deben estar conectadas a tierra en ambos extremos; esto incluye las tuberías que cubren el cable de puesta a tierra de las acometidas residenciales.

### **6.2.3 Tomacorrientes con SPT para uso domestico y uso general similar**

Se recomienda utilizar para tensión mayor a 50 V pero no superior a 250 V y corriente no mayor a 16 A, enchufes y tomacorrientes fijos o portátiles para corriente alterna, con protección a tierra, o polarizados. Esta norma se aplica también a enchufes incorporados en cordones y a enchufes y tomacorrientes incorporados en cordones de extensión. También se aplica a enchufes y tomacorrientes que son componentes de un artefacto. Esta norma técnica no se aplica a:

- Enchufes, tomacorrientes y adaptadores para propósito industrial
- Artefactos adaptadores
- Tomacorrientes fijos combinados con fusibles, interruptores automáticos, etc.

Figura 58. **Tomacorriente con protección a tierra o polarizado**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

El terminal de puesta a tierra de un tomacorriente polarizado debe ser conectado a una caja de salida puesta a tierra mediante un puente de unión, es decir que se debe conectar entre cada uno de los conductores de protección y la caja metálica. Debe tomarse en cuenta las siguientes excepciones:

- Cuando la caja de salida es de superficie, el contacto metálico entre el soporte del dispositivo y la caja se puede usar para establecer el circuito de puesta a tierra
- Las cajas de piso diseñadas y registradas para proporcionar una continuidad a tierra satisfactoria entre la caja y el dispositivo

Cuando entren a una caja más de un conductor de protección de un circuito derivado, todos los conductores deberán tener un buen contacto eléctrico entre sí y estar dispuestos de tal manera, que la desconexión de un tomacorriente, aparato u otro dispositivo alimentado desde la caja, no interfiera o interrumpa la continuidad de la puesta a tierra.

#### **6.2.4 Clases de electrodos**

El electrodo dispersor o de puesta a tierra es el conductor (jabalinas, perfiles, cables desnudos, cintas, etc.) o conjunto de conductores en contacto con la tierra que garantizan una unión íntima con ella.

Cuando los electrodos de tierra están lo suficientemente distantes, como para que la corriente máxima que pasa por uno de ellos no modifique el potencial de los otros, se dice que los electrodos de tierra son independientes.

Los electrodos de puesta a tierra pueden ser uno o un grupo de los descritos a continuación.

#### **6.2.4.1 Electrodo de varilla de acero, recubierto con cobre (copperweld)**

Su diámetro nominal debe ser mayor a 12 m.m. y su longitud mayor de 2.40 m, la profundidad mínima a la cual debe introducirse es de 2.40 m. Si se encuentra roca a menos de 1,25 m de profundidad, el electrodo debe enterrarse horizontalmente.

Es muy importante tomar en cuenta que por norma NEC (250-26c), los electrodos de puesta a tierra de las instalaciones eléctricas deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema. De acuerdo con la norma NEC (250-81), el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos:

- Tubería metálica de agua enterrada
- Estructura metálica del inmueble
- Electrodo empotrado en concreto
- Anillo de tierra

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente construidos:

- Electrodos de varilla o tubería
- Electrodos de placa
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos

Los tipos de electrodos fuera de la norma son:

- Tuberías de gas enterradas. Porque en los Estados Unidos las compañías suministradoras de este fluido se opusieron a ello.
- Electrodos de aluminio. Aunque en Europa se han utilizado, los comités del NEC se opusieron a incluirlos porque el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad que el cobre y los compuestos químicos que se le forman no son buenos conductores eléctricos.

#### **6.2.4.2 Estructura metálica del edificio**

La estructura metálica de los edificios puede ser usada, siempre que su impedancia a tierra sea baja. Para que la impedancia sea pequeña, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra que indica la norma <sup>(30: 250-94)</sup> y, en caso de haber sellos formados por películas plásticas, éstos se deben puentear.

#### **6.2.4.3 Electroodos de concreto armado**

En las estructuras nuevas, el concreto armado puede ser utilizado como electrodo principal. Éstas deben tener por lo menos 6 metros de una o más varillas de acero de no menos de 13 m.m. de diámetro localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata, empotrado al menos 50 m.m. en el concreto.

El concreto tiene una estructura química alcalina y una composición que atrae y retiene humedad. La combinación de estas características permite al concreto exhibir una resistividad consistentemente de unos  $30 \Omega \cdot m$ . Los electrodos de concreto tienen una resistencia a tierra mayor o igual que las varillas de cobre de un tamaño compatible, siempre que estén en contacto con suelos con resistividad de  $50 \Omega \cdot m$  o menor.

Las pruebas indican que la resistencia típica a tierra de una base para columna de anclaje, medida en los pernos es de alrededor de  $50 \Omega$ , sin usar métodos especiales. De allí que la resistencia efectiva de un edificio de estructura metálica con veintitantas columnas en paralelo sea de menos de  $5 \Omega$ , siempre y cuando se asegure que la estructura esté conectada a las varillas. Para ello, se suelda por métodos de fusión un cable de acero a las varillas, mismo que se conectará a su respectiva columna.

#### **6.2.4.4 Anillo de tierra**

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 m.m. y, que rodee al edificio o estructura. Estos anillos de tierras se emplean para circundar una fábrica o un sitio de comunicaciones y para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos. En subestaciones eléctricas, el anillo se forma utilizando un cable de cobre de calibre alrededor de 1000 MCM, que rodea el área ocupada por el equipo de la subestación. A este cable se conectan las derivaciones a cada aparato mediante un cable más delgado que podría ser 500 MCM o 4/0 AWG.

En este sistema se eliminan las grandes distancias de descarga y los potenciales peligrosos se reducen al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

### **6.2.5 Electrodo de puesta a tierra especialmente construido**

Cuando no se dispone de alguno de los electrodos mencionados en el punto anterior, se pueden usar uno o más de los electrodos siguientes (según NOM 250-83c):

- Electrodo de varilla o tubería
- Electrodo de placa
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos

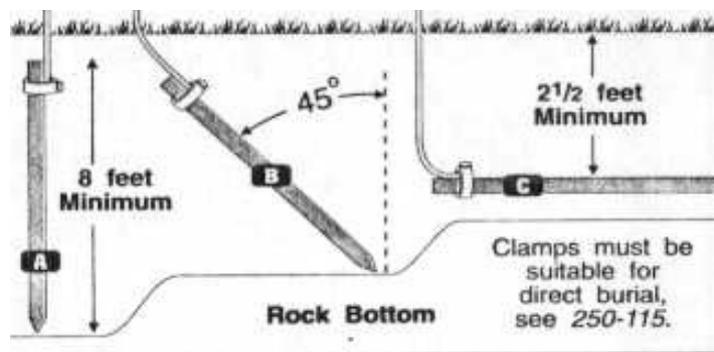
#### **6.2.5.1 Electrodo de varilla o tubería**

Los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,40 m de su longitud esté en contacto con la tierra según NEC (250-83c).

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro mayor a 13 m.m. de diámetro, y las demás de por lo menos 16 mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 m.m., y si son de acero, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas duran un promedio de 35 años en un suelo promedio; si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años.

Figura 59. Formas en las que se puede enterrar un electrodo en la tierra



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de talpetate, las varillas no pueden meterse de esa manera porque se doblan o simplemente no pueden entrar. Cuando la roca está a menos de 2,40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45° de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una zanja abierta para el caso a 800 m. m. de profundidad por lo menos. La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero. La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula:

$$R = \frac{\rho \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]}{2\pi L}$$

Donde:

$\rho$ : Resistividad del terreno en  $\Omega \cdot \text{cm}$ .

L: largo de la varilla en cm.

a: diámetro de la varilla en cm.

La fórmula para el caso de varilla enterrada en doble capa de tierra:

$$R = \frac{\rho_0 [LN a_1 - LN a_0]}{2\pi L} - \frac{\rho_1 [LN(4L) - 1 - LN(a_1)]}{2\pi L}$$

Donde:

$\rho_0$ : resistividad del terreno adjunto en  $\Omega \cdot \text{cm}$ .

$\rho_1$ : resistividad del terreno circundante en  $\Omega \cdot \text{cm}$ .

L: largo de la varilla en cm.

$a_0$ : diámetro de la varilla en cm.

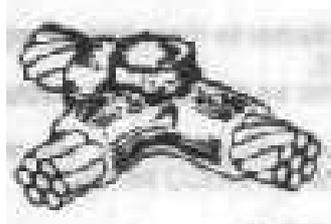
$a_1$ : diámetro del terreno adjunto a la varilla en cm.

## 6.2.6 Accesorios

### 6.2.6.1 Conectores

Los conductores de puesta a tierra y los puentes de unión deben asegurarse mediante soldaduras exotérmicas, abrazaderas conectores a presión u otros medios aprobados <sup>(30: 250-115)</sup> y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.).

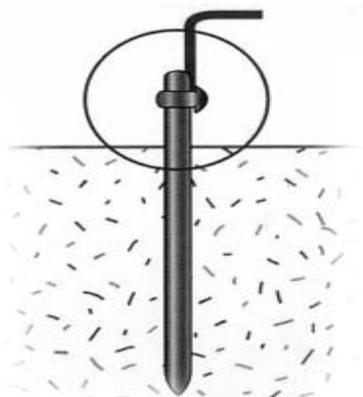
Figura 60. **Conectores eléctricos**



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado.

Figura 61. **Los conectores unen los conductores con los electrodos del SPT**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

En resumen, para conectar los conductores del SPT con los electrodos se puede utilizar uno de los métodos indicados a continuación:

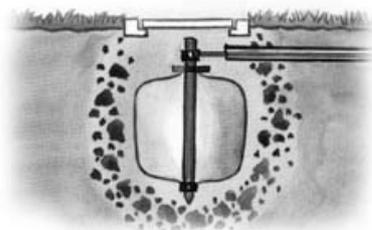
- Una abrazadera con perno de bronce o latón o de hierro fundido maleable
- Un accesorio de tubería, vástago u otro dispositivo aprobado, roscado en la tubería o en el accesorio
- Una abrazadera hecha de una tira de hoja metálica que tenga una base metálica rígida en contacto con el electrodo y una tira del mismo material y de dimensiones que no se encojan durante o después de la instalación
- Otros medios aprobados substancialmente iguales

#### **6.2.6.2 Registros**

Las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra, deben estar aprobados para su uso general sin protección según norma NEC (250-117), o protegerse contra daño físico como se indica a continuación:

- Colocándolas en lugares donde no sea probable que sufran daños
- Encerrándolas en una cubierta de metal, madera u otro material de protección equivalente

Figura 62. Ejemplo de un SPT con su registro



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

Esta conexión debe ser accesible, siempre que no esté en un electrodo hundido, empotrado o enterrado. Pero en el caso de las subestaciones, deben hacerse mediciones periódicas en los registros para comprobar que los valores del sistema de tierras se ajustan a los valores de diseño. Por ello, se recomienda dejar registros en los electrodos de varilla.

Aparte de los registros de fábrica, se pueden construir esos registros empleando un tubo de albañal, con la boca hacia arriba para que sirva de tope a una tapa de cemento.

### 6.2.7 Mejoramiento de la resistencia a tierra

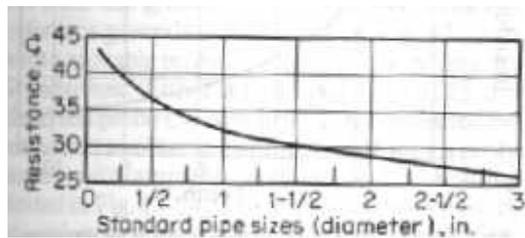
Para los sistemas con un electrodo único que conste de una varilla, tubería o placa, que tiene una resistencia a tierra de  $25 \Omega$  o más, que se complementa con electrodos adicionales de los tipos mencionados anteriormente y separados por lo menos una distancia de 1,83 m entre sí, su resistencia se puede reducir de las siguientes maneras:

- Usando una varilla de mayor diámetro
- Usando varillas más largas
- Poniendo dos, tres o más varillas en paralelo
- Tratando químicamente el terreno

### 6.2.7.1 Varillas de mayor diámetro

Usando varillas de 19 m.m. en lugar de varillas de 13 m.m. se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo.

Figura 63. **Relación entre el diámetro de la varilla y la resistencia de tierra**

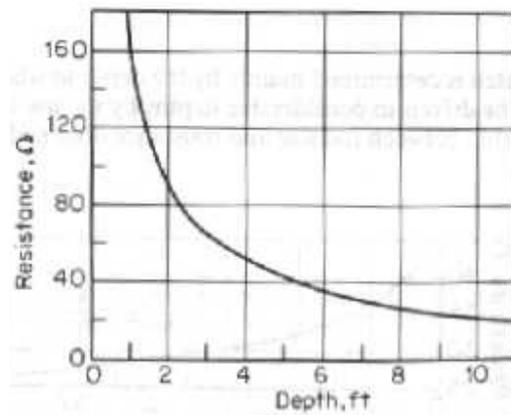


Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

### 6.2.7.2 Varillas más largas

Para los casos donde las capas superiores de la tierra son de arena y donde a gran profundidad se encuentra una capa de terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 15 m.

Figura 64. **Variación de la resistencia con la profundidad, para un electrodo de 1.02 plg de diámetro en suelo muy húmedo**



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

Aunque en algunas subestaciones de compañías eléctricas de los EE. UU. han, empleado varillas con longitudes de hasta 30 m, por lo general, doblando el largo, se obtiene una reducción del 40% de resistencia a tierra.

### **6.2.7.3 Varillas en paralelo**

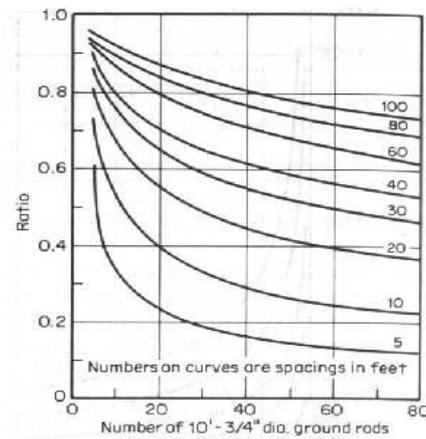
El colocar varias varillas en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistividad. Pero, las varillas de tierra no deben ser colocadas muy cerca una de otra, porque cada varilla afecta la impedancia del circuito. La distancia entre ellas no debe ser menos de 1,83 m, aunque se recomienda que estén separadas más del largo de cualquiera de ellas.

Cuando se utilizan múltiples electrodos, la impedancia es mayor y cada electrodo adicional no contribuye con una reducción proporcional en la resistencia del circuito. Por ejemplo, dos varillas reducen la resistencia al 58% de una sola, mientras que 20 varillas apenas reducen ese valor al 10 %. La resistencia neta para n varillas  $R_n$  esta determinada por la resistencia de una sola varilla R. Este es un valor aproximado que considera que las varillas están espaciadas por una distancia igual al diámetro del cilindro protector.

$$R_n = [R/n] * [2 - e^{-0.17*(x-1)}]$$

Y representa el decaimiento de la capacitancia asociada con la propagación en la tierra.

Figura 65. **Porcentaje de conductividad de electrodos de tierra en paralelo en un área de electrodos aislados**



Fuente: Roberto Ruelas. [www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html](http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01.html).

Es de observar que, muchas varillas cortas tienden a ser más efectivas que unas cuantas largas.

Esto puede ser verificado al unir las ecuaciones de las resistencias individuales y las de grupo. Por ejemplo, un terreno de resistividad de  $1000 \Omega \cdot m$ . Una varilla de 25 cm. da una resistencia a tierra de  $300 \Omega$ . Dos varillas de 12.5 cm. dan una resistencia de  $210 \Omega$ . Esto es,  $2/3$  de la resistencia.

### **6.3 Propósito y tipos de sistemas de puesta a tierra**

#### **6.3.1 Objeto de las Puestas a Tierra**

Los SPT se establecen con el objetivo principal, de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas (tensión de contacto), entre distintos lugares del suelo en las inmediaciones de la puesta a tierra (tensión de paso), asegurar la actuación de las protecciones ( $R$  de la puesta a tierra) y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado.

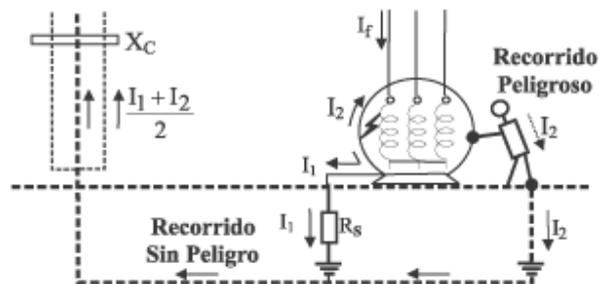
Los SPT en general constituyen una parte fundamental en las instalaciones eléctricas de todo tipo y permiten cumplir con las exigencias técnicas de seguridad humana y de las propias instalaciones así como con la confiabilidad de la operación, mediante el desempeño de las funciones descritas a continuación:

### 6.3.1.1 Unión sólida entre un sistema eléctrico y la tierra

Proporcionando el potencial de referencia ( $V = 0$ ) en la barra equipotencial, o según el caso en el punto Neutro y en las masas que se le conectan. De modo que durante el funcionamiento normal o durante fallas asegura:

- La protección de las personas contra la energización accidental de las masas por acumulación de carga estática o por falla ( $I_f$ ) directa o indirecta.
- El correcto funcionamiento del propio sistema y sus periféricos de protección, comunicaciones, control, automatismos, flujo y procesamiento de datos, así como de todas las cargas conectadas a él.

Figura 66. Protección en caso de energización de las masas



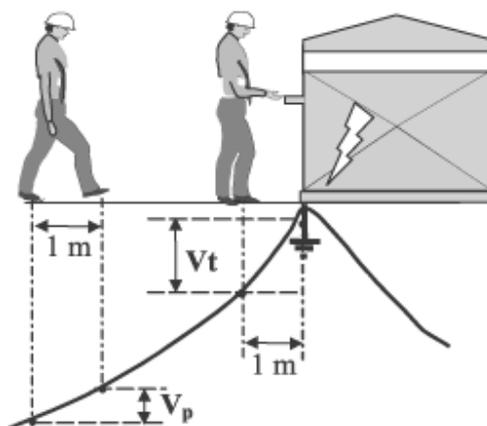
Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

### 6.3.1.2 Control de potenciales anormales en el suelo (gradientes peligrosos)

El SPT limita los potenciales en el suelo y entre el suelo, las partes metálicas de las instalaciones eléctricas y la proximidad de éstas, brindando durante las fallas

- Protección a las personas: asegurando que las tensiones de toque ( $V_t$ ) y paso ( $V_p$ ) de la instalación sean menores o iguales que las similares admisibles por el cuerpo humano.
- Protección a equipos de baja tensión: Especialmente los equipos e instrumentos electrónicos, evitando elevadas diferencias de potencial y descargas inversas desde la masa a los circuitos internos.
- Evacuar, conducir, derivar a tierra y cerrar el circuito de corrientes eléctricas ocasionales o permanentes del sistema eléctrico.

Figura 67. Potenciales peligrosos de toque y de paso en subestación de media y baja tensión



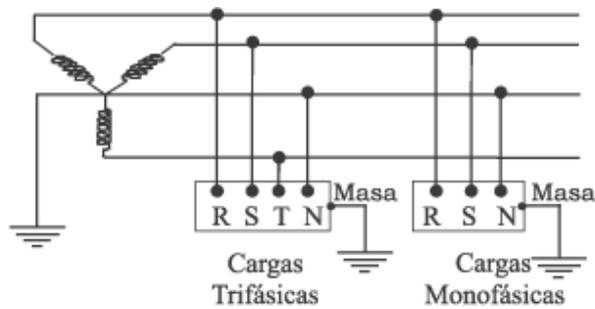
Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

### 6.3.1.3 Circulación de corrientes anormales

El SPT por su mínima resistencia de dispersión, asegura la circulación a través del suelo de:

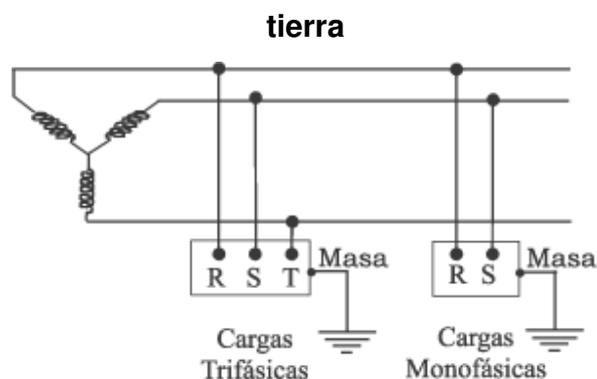
- **Elevadas corrientes;** senoidales (corto circuito) y de impulso (rayo, maniobra).
- **Corrientes de régimen permanente;** por desbalance de carga, o procesos continuos.
- **Corrientes inducidas;** por formación de anillos, por carga estática, etc.

Figura 68. **Conexión de cargas en sistemas estrella con neutro a tierra**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

Figura 69. **Conexión de cargas en sistema delta o estrella sin neutro a**

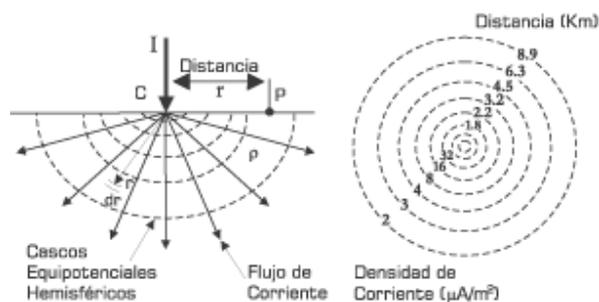


Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

De acuerdo con su aplicación y características físicas y de instalación, los SPT normalmente se diseñan para funcionamiento permanente con corrientes de pequeña o limitada magnitud y solamente para funcionamiento breve con elevadas corrientes como las de falla o rayo; en este último caso, su comportamiento transitorio depende de su geometría.

- Cuando son SPT de seguridad generalmente en alta tensión.
  - Controlan los gradientes peligrosos (tensiones de toque y paso)
  - Detectan bajas resistencias de dispersión
  - Los interruptores (o disyuntores) definen el tiempo de conducción+
- Cuando son SPT de referencia de potencial, generalmente en baja tensión.
  - No tienen como objetivo el control de los gradientes peligrosos
  - Pueden tener moderadas o bajas resistencias de dispersión
  - Los fusibles, interruptores termomagnéticos o diferenciales definen el tiempo de conducción

Figura 70. **Dispersión de corrientes a frecuencia industrial en el suelo hemisferios concéntricos**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

## 6.3.2 Tipos de sistemas de puesta a tierra

### 6.3.2.1 Tierra de protección

Su objetivo es evitar la aparición de tensiones peligrosas entre partes de la instalación que normalmente están sin tensión y otras partes vecinas que puedan encontrarse al potencial de tierra.

Deberán conectarse a la tierra de protección todas las partes metálicas de una instalación que normalmente están sin tensión, como carcasas de máquinas, de transformadores, de aparatos, partes conductoras accesibles de estructuras y edificios, cubiertas de plomo de cables de alta y baja tensión, dispositivos de puestas a tierra de las líneas aéreas y el cable de guardia de las mismas. La puesta a tierra de protección es la que se realiza normalmente en las edificaciones, de allí la importancia de conocer sus características.

El conductor de protección (denominado comúnmente conductor de tierra) debe ser eléctricamente continuo y no ser seccionado en punto alguno de la instalación ni pasar por el interruptor termomagnético. Tendrá la capacidad de soportar la corriente máxima de cortocircuito coordinada con las protecciones instaladas en el circuito.

Como conductores de protección en instalaciones domiciliarias deben utilizarse cables unipolares aislados, con sección no menor a 2,5 mm<sup>2</sup>. En todos los casos hay que efectuar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación.

#### **6.3.2.2 Tierra de servicio**

Se utiliza para conectar en forma permanente a tierra ciertos puntos de las instalaciones de corrientes elevadas. Deberán conectarse a la tierra de servicio los limitadores de tensión, el neutro u otro punto del sistema si hay razones de servicio que aconsejen dicha conexión.

#### **6.3.2.3 Mallas a tierra**

Cuando se construye una malla de tierra alejada de la instalación o cuando se interconectan dos mallas alejadas, la unión se debe hacer mediante dos conductores independientes.

En general, se utilizará la misma malla de tierra con fines de protección y de servicio, cuando ambas pertenecen a instalaciones con la misma tensión.

Cuando se utilicen mallas diferentes se debe verificar que no haya peligro para las instalaciones y las personas, debido a las corrientes máximas que puedan circular en las mallas.

### **6.3.3 Clasificación de los SPT, según su aplicación**

#### **6.3.3.1 SPT para instalaciones eléctricas**

En instalaciones eléctricas se utiliza el llamado SPT de servicio o funcional. Su propósito es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de tensiones más elevadas. También sirve para mantener al potencial de tierra, alguna parte de los circuitos de alimentación, como pueden ser los centros de la estrella en generadores y transformadores.

Este tipo de SPT se logra al unir, mediante un conductor apropiado, una parte de la instalación eléctrica con la tierra.

### **6.3.3.2 SPT para equipos eléctricos**

En este caso se utiliza el SPT conocido como puesta a tierra de protección y consiste en la puesta a tierra de las masas metálicas de los equipos eléctricos para brindar protección contra contactos indirectos eliminando los potenciales de contacto al derivar las corrientes de falla que pudieran poner en peligro la vida y la propiedad. También permite que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos. Se consigue al conectar todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse al punto de conexión del SPT. En ocasiones se realizan puestas a tierras conjuntas, funcionales y de protección.

### **6.3.3.3 SPT en señales electrónicas**

En este caso se utiliza el SPT de referencia que sirve para brindar un potencial constante, que es empleado para evitar la contaminación con señales con frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes conectados a un potencial cero, que es la tierra.

### **6.3.3.4 SPT de protección electrónica**

El SPT de referencia también se utiliza para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por voltaje, ya que al tener una referencia a tierra, se puede colocar dispositivos de protección que se conectan entre los conductores activos y la referencia cero.

### **6.3.3.5 SPT para protección atmosférica**

La puesta a tierra de pararrayos es la encargada de llevar a tierra las sobre tensiones producidas por las descargas atmosféricas sobre los descargadores y los pararrayos. Sirve para canalizar la energía de los rayos a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada a la tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

### **6.3.3.6 SPT para protección electrostática**

Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se obtiene al unir todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando la tierra como referencia. Cada sistema de tierras debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde.

## **6.4 Instalaciones y equipos que deben conectarse a tierra**

Se le llama electrodo al conjunto de conductores enterrados en el suelo, que funcionan como parte del SPT y que están unidos por un puente. Según las normas internacionales, se debe conectar a tierra los siguientes elementos, según el caso

Si el SPT es de servicio particular:

- La barra equipotencial del tablero de distribución
- La bajada del pararrayos
- Los armados de acero de las estructuras de concreto del edificio
- Las tuberías y conductos metálicos (agua y otros) excepto tuberías de combustibles

Si el SPT es de servicio público:

- El punto neutro de los transformadores y sistemas eléctricos
- Las bajadas de tierra de los pararrayos y descargadores
- Las estructuras, carcasas y masas de todas las máquinas y equipos eléctricos
- Los soportes metálicos de los aislamientos de líneas y sistemas eléctricos
- Las masas de los instrumentos y aparatos manuales

Cuando un equipo es alimentado por una instalación eléctrica diferente de la instalación interior, se debe proveer un medio para su conexión a tierra.

## **6.4.1 SPT de instalaciones eléctricas**

### **6.4.1.1 Tipos de instalaciones que requieren un SPT**

- Sistemas eléctricos en c.c. de no más de 300 V, a menos que:
  - Suministren energía a sistemas industriales en áreas limitadas y sean equipados con un detector de tierra
  - Operen a menos de 50 V entre conductores
  - Sean alimentados con un rectificador desde un sistema en c.a. aterrizado
- Sistemas de c.c. en tres hilos
- Sistemas eléctricos en c.a. cuando el voltaje a tierra esté entre 50 y 150 V (30: 250-5d)
- Sistemas de c.a. de menos de 50 V si están alimentados por transformadores de sistemas a más de 150 V a tierra o por sistemas no aterrizados

### **6.4.1.2 Tipos de instalaciones en c.a. que no necesitan estar aterrizados solidamente**

Los sistemas en c.a. de 50 a 1000 V que cumplan con los siguientes requisitos no se requiere que estén aterrizados.

- Sistemas eléctricos de hornos industriales
- Sistemas derivados que alimenten únicamente rectificadores de controles de velocidad variable

- Sistemas derivados aislados que son alimentados por transformadores cuyo voltaje primario es menor de 1000V, siempre que:
  - El sistema solamente se use en control
  - Solamente personal calificado tenga acceso a la instalación.
  - Se tengan detectores de tierra en el sistema de control
  - Se requiera continuidad del servicio.
- Sistemas aislados en hospitales y en galvanoplastia <sup>(30: 517, 668)</sup>
- Sistemas aterrizados mediante una alta impedancia que limita la corriente de falla a un valor bajo. Estos sistemas se permiten para sistemas en c.a. trifásicos de 480 a 1000 V, donde:
  - Solamente personal calificado da servicio a las instalaciones.
  - Se requiere continuidad del servicio.
  - Se tienen detectores de tierra en el circuito.
  - No existan cargas conectadas entre línea y neutro.

En práctica, los sistemas industriales en media tensión son normalmente aterrizados mediante una baja resistencia, es decir, se conecta una resistencia de 400 A en el neutro del transformador. Esta corriente máxima de falla no es muy dañina a los equipos, pero requiere relevadores de falla a tierra (50GS) rápidos.

#### **6.4.1.3 Conductores a aterrizar**

En los siguientes sistemas en c.a. se conectará a tierra:

- Una fase, dos hilos: El conductor de tierra
- Una fase, tres hilos: El neutro

- Sistemas polifásicos con un hilo común a todas las fases: El conductor común
- Sistemas polifásicos que tiene una fase aterrizada: Este conductor
- Sistemas polifásicos en general: Solamente una fase puede estar aterrizada. Este conductor es el llamado neutro y es de color blanco. Y se recomienda usar el color gris para distinguir el neutro de otro sistema. Usualmente el de un sistema con voltaje más alto.

#### **6.4.1.4 Instalaciones de comunicaciones y canalizaciones para sistemas de cómputo**

Quando en una edificación se instale sistemas de cómputo, sea cual fuere el uso que se le dé a la edificación, deberá colocarse canalizaciones y cajas independientes para el sistema de cómputo.

**Figura 71. Se deben colocar canalizaciones y cajas independientes para las computadoras**



Fuente: Justo Yanque M. [www.procobreperu.org/publicaciones.htm](http://www.procobreperu.org/publicaciones.htm)

Todas las partes metálicas de las cajas de canalización deberán estar puestas a tierra.

#### **6.4.1.5 Consideraciones para un buen diseño de sistema de puesta a tierra de equipos eléctricos**

El trayecto a tierra desde circuitos, equipos y cubiertas conductoras debe:

- Ser permanente y continuo
- Tener suficiente capacidad para conducir con seguridad cualquier corriente de falla probable que pueda circular en él
- Tener una impedancia lo suficientemente baja para limitar la tensión a tierra y facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección del circuito

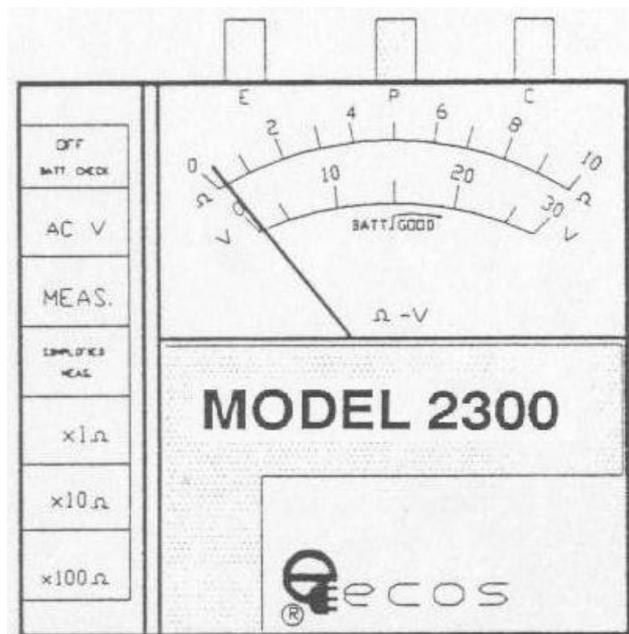
Un sistema de puesta a tierra bien diseñado, considera:

- La conexión de la varilla de tierra
- Conectar a tierra el tubo conduit metálico del conductor del SPT
- Emplear las charolas y, las tuberías metálicas roscadas como conductores de puesta a tierra
- Usar los interruptores automáticos con detector de falla a tierra en los garajes, cocinas, y obras en construcción.
- El cableado del conductor del SPT junto con los cables de líneas y del neutro del mismo circuito por dentro de la misma canalización metálica.

## 6.5 Equipo de medición

El equipo de medición es de fabricación canadiense y fue fabricado por “**Eecos Electronic Corporation**” y es un instrumento de medición de resistencia de la tierra física como lo miramos en la figura a continuación:

Figura 72. Instrumento de medición de tierra física EECOS modelo 2300

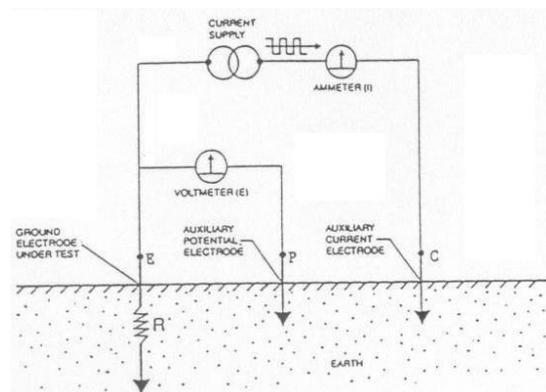


Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. principal

### 6.5.1 Principio de operación del Eecos Modelo 2300

Según la gráfica describe la diferencia potencial entre las varillas E (tierra bajo prueba) y P (potencial) es moderado por un voltímetro y el flujo actual entre las varillas E y C (corriente) es moderado por un amperímetro. Por ley del ohm, ( $E = RI$ ) o  $R = E/I$ , nosotros podemos obtener la resistencia de electrodos de tierra R. El probador de tierra medirá la tierra directamente generando su propia corriente y desplegando la resistencia del electrodo de tierra. Como lo muestra la gráfica siguiente.

Figura 73. Descripción gráfica de cómo utilizar el medidor EECOS modelo 2300

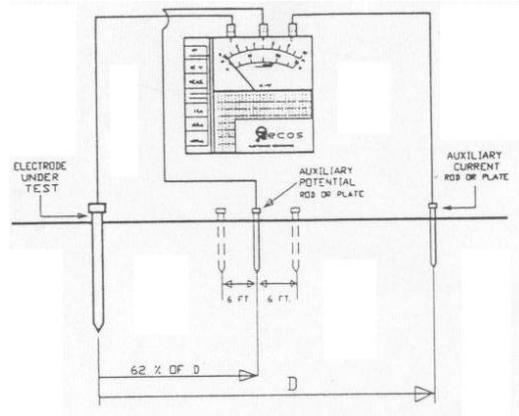


Fuente: **Manual de Instrucción modelo 2300**, Pág. 14

### 6.5.2 Método del 62%

El método del 62% consiste en una alteración según la grafica, de la ubicación de la varilla P y de la varilla C que es utilizado si los electrodos están conectados en una línea recta y la tierra es un solo electrodo, tubería, etc.

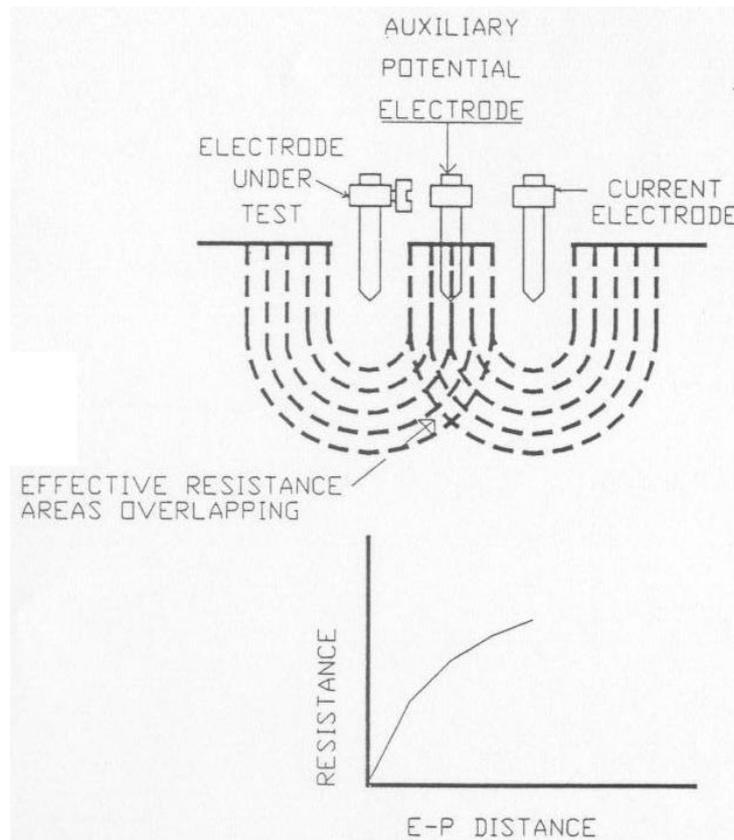
Figura 74. Descripción grafica del Método del 62%



Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. 17

La siguiente figura muestra las áreas de la resistencia eficaces del electrodo de tierra E y el C. Las áreas de resistencia disimulan si las lecturas fueran tomadas moviendo el electrodo potencial auxiliar P hacia E o C, el electrodo de diferencial de lectura P hacia E o C, los diferenciales de lectura serían grandes puede que no se obtenga una lectura dentro de una vanda razonable de tolerancia. Las áreas sensibles disimulan y constantemente agregan para aumentar como P se marcha de E.

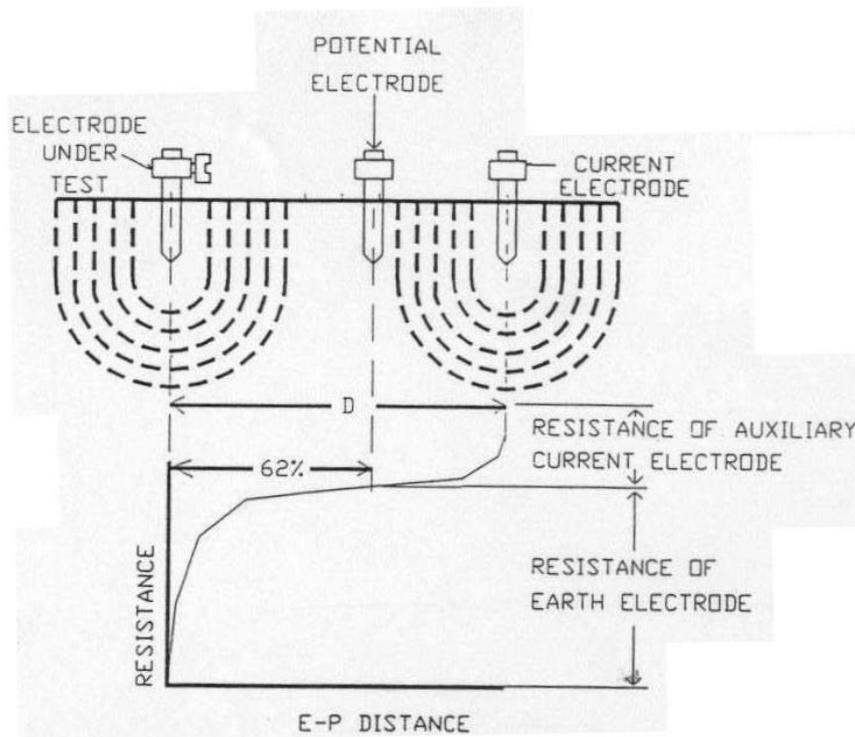
Figura 75. Áreas de disimulación de las áreas de influencia de los electrodos P y C respecto a E



Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. 18

Ahora considere la siguiente figura. Donde se espacian los electrodos E y C suficientemente para que el área de resistencia eficaz no disimule. Si nosotros trazamos la resistencia medida que nosotros encontramos con las medidas tomadas cuando P se pone 62% de distancia de E a C y que las lecturas en cualquier lado de P puede probablemente estar dentro de la vanda de tolerancia establecida (esta vanda de tolerancia es definida por el usuario) y se expresa como un porcentaje de la lectura inicial +2%. +5%, +10%, etc.,

Figura 76. **Áreas de no disimulación de las áreas de influencia de los electrodos P y C respecto a E**



Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. 19

Dentro del método del 62 % existe uno que es el del electrodo auxiliar, basado en que no hay ninguna distancia definida entre E y P puede darse este a través de un diámetro y longitud del electrodo probado, basado en la siguiente tabla nos indica la profundidad del electrodo probador con respecto a P y C.

Tabla XXXI. **Distancia aproximada del electrodo auxiliar usando el método del 62%**

<b>PROFUNDIDAD MANEJADA (PIES)</b>	<b>DISTANCIA A P (PIES)</b>	<b>DISTANCIA A C (PIES)</b>
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. 20

También existe otro método que consiste en electrodos múltiples porque a veces una sola varilla no proporcionará resistencia baja suficiente y se manejará y conectará en paralelo para ellos se manejan una línea recta; cuando cuatro o más se usan, una configuración cuadrada igualmente espaciada se usará

En sistema del electrodo múltiple el "método del 62%" no puede aplicarse ya directamente, ni la tabla anterior puede usarse. La distancia de los electrodos auxiliares es ahora basado en la distancia de reja máximo; por ejemplo, teniendo un cuadrado de lado 20 pies y tenga una diagonal de aproximadamente 28 pies, vea tabla XXXII, para los espacios del electrodo auxiliares aproximados para probar sistemas del electrodo múltiples.

Tabla XXXII. **Distancia del electrodo auxiliar usado el sistema de múltiples electrodos.**

<b>DISTANCIA MÁXIMA (PIES)</b>	<b>DISTANCIA A P (PIES)</b>	<b>DISTANCIA A C (PIES)</b>
6	78	125
8	87	140
10	100	160
12	105	170
14	118	190
16	124	200
18	130	210
20	136	220
30	161	260
40	186	300
50	211	340
60	230	370
80	273	440
100	310	500
120	341	550
140	372	600
160	390	630
180	434	700
200	453	730

Fuente: **Manual de Instrucción model 2300**, Pág. 22

## **6.6 Sistemas de tierra de los edificios S8 y T9**

Basada en la medición que se hizo con el instrumento de medición EECOS modelo 2300 se diseñó el sistema de tierra que se puede aplicar tanto al sistema del edificio S8 como el edificio T9 del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala basado en su estructura se pueden mostrar algunos detalles que ayuden a la realización de dicho sistema de puesta a tierra. A la vez se citarán diferentes procesos de ejecución respecto a sus materiales y técnicas a utilizar en la realización de la misma.

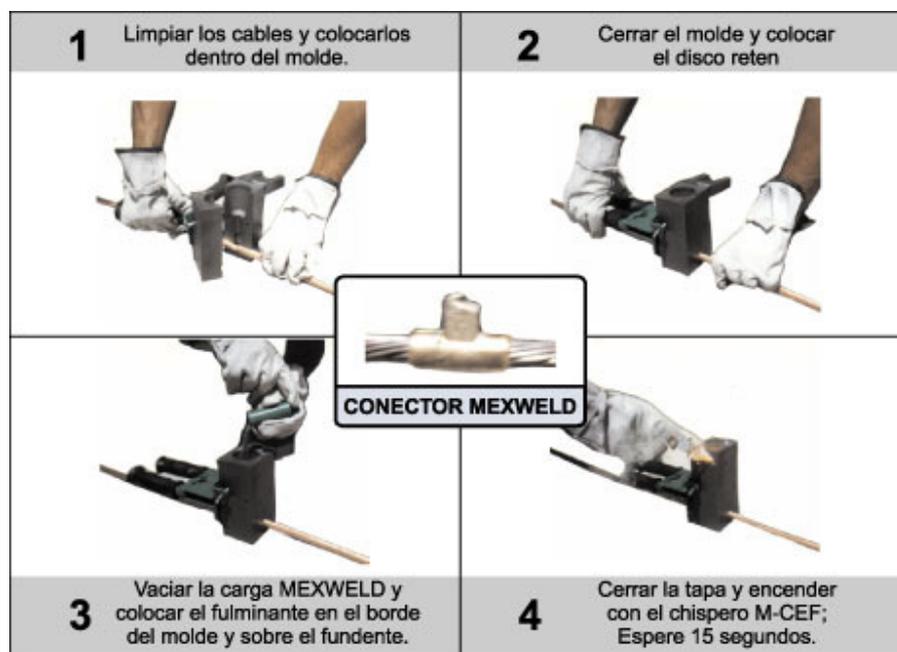
### **6.6.1 Proceso del conector soldable exotérmico**

El proceso de soldadura exotérmica es un método para hacer conexiones eléctricas de Cobre a Cobre, o de Cobre a Acero Estructural que no requiere ninguna fuente externa de energía o calor.

En este proceso, una reacción en donde un compuesto de partículas granuladas, son colocadas en un molde de grafito y se enciende con un chispero, que inicia un proceso de reducción (reacción exotérmica), y genera una alta temperatura en exceso de 1400 grados centígrados y produce cobre fundido. El cobre fundido fluye por la colada del molde hasta la cavidad o cámara de soldadura, llenándola y completando la conexión. La soldadura se solidificará en unos 10 o 20 segundos. El molde se abre y se prepara para el siguiente conector. Todo este proceso toma solamente unos segundos para realizarse.

Los conectores soldables hechos con éste proceso producen una junta (o conexión) superior en rendimiento a cualquier conector de compresión, atornillado o mecánico. En virtud de su cohesión molecular, un conector soldable exotéricamente no se aflojará ni incrementará su resistencia eléctrica al paso del tiempo, tampoco se corroerá.

Figura 77. **Proceso del conector soldable exotérico**



Fuente: [www.mexwel.com](http://www.mexwel.com)

### 6.6.1.1 Ventajas de los conectores soldables exotéricos

Por todo el mundo, la soldadura exotérmica ha demostrado ser la mejor opción cuando la seguridad, capacidad de carga de corriente, confiabilidad y longevidad son críticas. En comparación con todas las diferentes variedades de conectores que se encuentran en el mercado hoy en día, solamente los conectores soldables cumplen con lo siguiente:

- Mantienen constante la integridad de contacto y continuidad eléctrica.
- Bajo costo de mano de obra, es sumamente sencillo.
- No se requieren personal especializado.
- No necesita energía externa o calor.
- Portátil, la herramienta y equipo son ligeros.
- Se inspecciona visualmente.
- Transmite mayor amperaje que el propio conductor, sin fundirse.
- La guía IEEE-80 considera su conductividad igual a la del conductor.

Se garantiza una larga vida útil dada que:

- No se deteriorará con el paso del tiempo.
- Se forma una adhesión molecular permanente que no se afloja, ni corroe.
- Tolerará fallas repetidas.

### **6.6.2 Intensificador GAP**

Existen varias formas de darle tratamiento a la tierra para que pueda mantenerse húmeda de tal forma de alterar su composición natural y poder tener una menor resistencia, en el diseño de la red de tierras de los edificios se recomienda usar el intensificador GAP por sus propiedades que ha demostrado.

Es bien conocido que GAP es un producto conductor de electricidad que se utiliza como relleno en los sistemas de tierras para incrementar y mejorar las propiedades conductivas del terreno, optimizando y economizando los resultados necesarios para el buen funcionamiento del mismo.

### **6.6.2.1 Ventajas**

Al aplicar el Químico Intensificador nacional para bajar la resistencia del terreno GAP correctamente, se asegura confiablemente de:

- El mejor rendimiento costo/beneficio
- Brindar seguridad al personal
- Proporcionar baja resistencia todo el año
- Larga vida útil, garantizado\* Cumplir con especificaciones de CFE
- Libre de mantenimiento, no requiere de agua
- Ecológico, no contamina el subsuelo
- Resulta muy sencilla su instalación
- Evita la corrosión del sistema de tierra

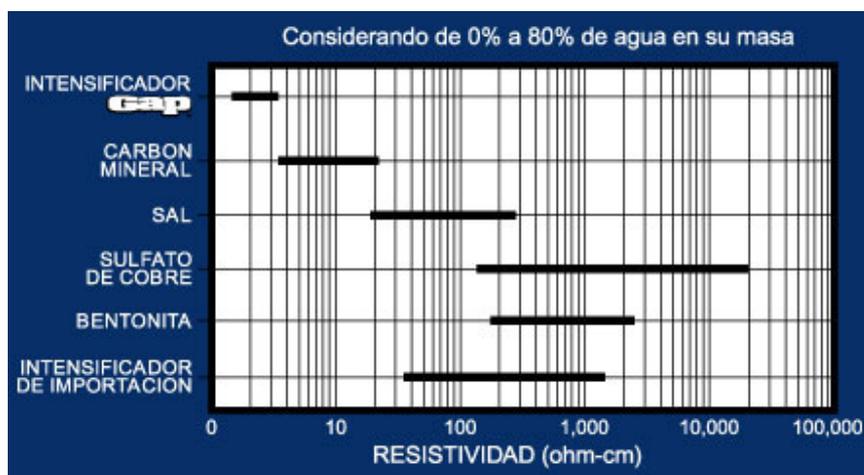
### **6.6.2.2 Resistencia eléctrica del GAP**

El GAP fue sometido a pruebas de resistencia eléctrica en LAPEM\* encontrando que tiene un valor de 3.4 ohm-cm., el cual resultó ser el más bajo de todos los productos que se utilizaban anteriormente como relleno en los sistemas de tierra. (Ver gráfica).

El GAP tiene una fuerte cohesión (adherencia) molecular entre sus partículas, la suficiente en el cuerpo del relleno para conducir la electricidad; En Comparación con los rellenos que le siguen en baja resistividad, estos no tienen la propiedad de endurecerse, puesto que no son productos diseñados para ser utilizados como rellenos; sino que su finalidad es distinta.

Por consiguiente el utilizar GAP, en los sistemas de tierras, es obtener confianza, eficiencia y experiencia de un producto de calidad, especialmente diseñado para su servicio. Obteniendo como ventaja que entre menos resistencia tenga el producto, mayor es su eficiencia.

Figura 78. Rangos de resistencia de diferentes productos

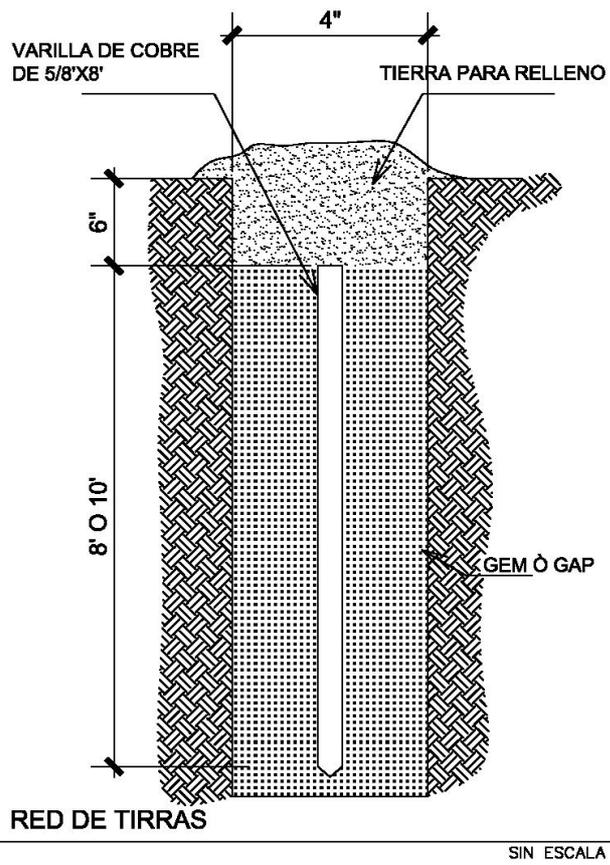
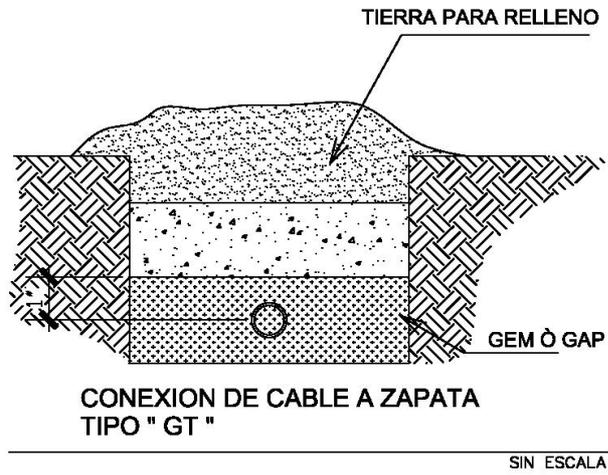


Fuente: [www.mexweld.com](http://www.mexweld.com)

### 6.6.3 Red de tierra edificio S8 y T9

El diseño siguiente presenta los detalles del proceso que se tiene que llevar para la puesta a tierra de una de las distintas varillas de cobre de calidad copperweld, también se presentan medidas que no exactamente tiene que coincidir en la realidad.

Figura 79. Diseño de red de tierras edificio S8 y T9

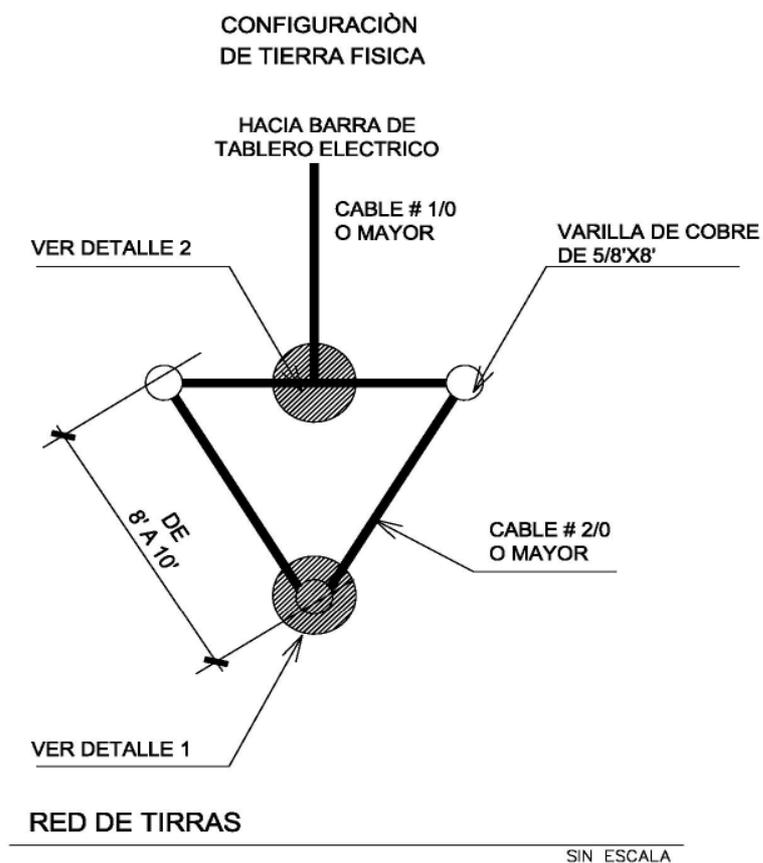


Fuente: Carlos Navarro, Dibujado en Autocad

#### 6.6.4 Configuración de la red de tierra física

El diseño siguiente muestra la configuración de la conexión que van a tener las tres varillas que van a ir enterradas para realizar el STP de los edificios S8 y T9

Figura 80. Detalle 1 y detalle 2 de la configuración de tierra

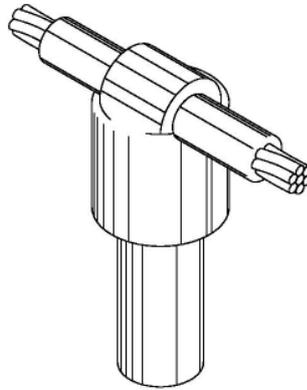


Fuente: Carlos Navarro, Dibujado en Autocad

### 6.6.5 Detalles de la configuración de la red de tierra

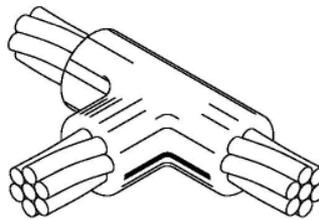
Los diseños de los detalles dan a conocer de cómo se unirán los cables con la varilla o con el cable de derivación utilizando la soldadura exotérmica.

Figura 81. **Detalle 1 y detalle 2 del SPT**



**CONEXION DE CABLE A ZAPATA  
TIPO " GT " DETALLE 1**

SIN ESCALA



**CONEXION DE CABLE PARA VARRILA CADWELD  
TIPO " TA " DETALLE 2**

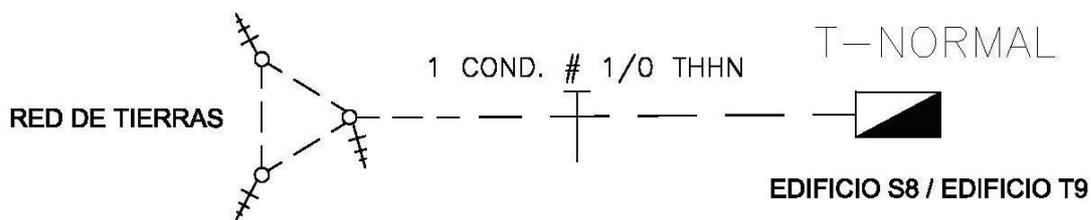
SIN ESCALA

Fuente: **Carlos Navarro**, Dibujado en Autocad

### 6.6.6 Unifilar del SPT

El diseño siguiente detalla la introducción a través del cable 1/0 del sistema de puesta a tierra al tablero general correspondiente a cada edificio.

Figura 82. **Introducción de la red de tierras al tablero principal de los edificios S8 y T9**



Fuente: **Carlos Navarro**, Dibujado en Autocad

### 6.6.7 Listado de materiales y herramienta, del SPT de los edificios (S8 T9)

El complemento de la red de tierras es un listado de materiales y herramientas, para la realización de la misma, el cual se detallara a continuación de acuerdo a las especificaciones dadas arriba de la red de tierras de los edificios S8 y T9 del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El listado de materiales esta designado según nombres comerciales actuales no detalla precio ya que estos varían sin previo aviso.

Tabla XXXIII. Listado de materiales y herramienta para la realización de un SPT

CANTIDAD	DESCRIPCION
	<b>MATERIALES</b>
3	varillas de de cobre de 5/8" X 8` calidad copperweld
10	mts de cable thhn calibre No. 2/0
15	mts de cable thhn calibre No. 1/0
4	Cargas No 90grs
25	Lbs. Intensificador de Terreno GAP
1	Pasta selladora para moldes
1	Platinas de cobre 20" x 4" x 1/4"
	<b>HERRAMIENTA</b>
1	Molde p/soldadura Cable No2 a Varilla 5/8
1	Molde p/soldadura Cable No2 a Cable No. 1
1	Chispero para Molde
1	Manija para molde
1	Alicate
1	Pinza
1	Navaja

Fuente: Carlos Navarro



## **7 EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DEL EDIFICIO S8 Y T9 AL MERCADO MAYORISTA**

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 dicha 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.

### **7.1 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.

- Presentar ante la AMM cuando se realicen transacciones en el mercado a termino, de conformidad con la norma de coordinación comercial No. 13, la siguiente información
  - Una solicitud indicando que se desea incorporar al mercado a terminó un contrato o modificación a un contrato vigente.
  - Declaración jurada con el resumen de las condiciones contractuales mas importantes, tales como: tipo de contrato, precio, plazo, punto de entrega, formulas 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
  - Presentar la planilla correspondiente firmada por la parte compradora y vendedora.
- 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 de 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.
- 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 AMM, de que tiene 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.

- 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.
- La información anterior debe ser presentada al AMM a mas 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
- Presentar cada año al AMM a partir de la fecha de inicio de operaciones en el mercado mayoristas, una declaración jurada de que su demanda excede 100 Kw. o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro.

## **7.2 Factibilidad de incorporar el edificio S8 y T9 al mercado mayorista**

Actualmente, el edificio S8 tiene una demanda máxima aproximada de 50 Kw. y el edificio T9 tiene una demanda máxima aproximada de 40 Kw. lo que no haría factible la interconexión al mercado mayorista por lo tanto no es posible que en este momento los edificios S8 y T9 se incorporen como miembros del mercado mayorista.



## CONCLUSIONES

1. Con base a lo establecido en los objetivos generales y específicos de este trabajo de graduación se hace de importancia hacer los cambios aconsejados en cada uno de los capítulos descritos anteriormente, para que los edificios entren en un funcionamiento pleno, tomando en cuenta que actualmente los edificios no cuentan con un total rendimiento eléctrico, debido a diferentes variantes como lo son su calidad de energía, su red de tierras físicas y ante todo las propiedades físicas de los elementos eléctricos como lo son los conductores, interruptores tomacorrientes, luminarias y otros, que están en mal estado y teóricamente venció ya su vida útil.
2. En el análisis de calidad y energía se desarrollaron estudios importantes acerca de la variación de voltaje, se verificó el desbalance de las corrientes, consumo de potencia activa, reactiva inductiva, factor de potencia y energía que son los parámetros estudiados en un análisis de sistemas de potencia así también se hizo énfasis en los estudios de armónicos como complemento sustancial en el análisis de calidad y energía.

3. El conocimiento de las puestas a tierra es de suma importancia para la protección de los sistemas y elementos que la componen, así como de las personas. Las puestas a tierra tienen como función impedir la permanencia de una tensión de contacto demasiado alta en una pieza conductora que no forme parte del circuito de servicio. El conocimiento del tipo de configuración e instalación de la puesta a tierra se debe determinar utilizando las mediciones de resistencia a tierra, y evaluando las tablas, las cuales nos ayudan a determinarla.
  
4. Actualmente, la demanda de potencia máxima total en su conjunto, de los edificios S8 y T9 no cumple con el valor establecido como requisito por el Administrador de Mercado Mayorista (AMM), lo que no es posible por ahora que formen parte del mismo ente como clientes mayoristas del AMM.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar los cambios sugeridos en este informe constituye una necesidad, tanto en el edificio S8 como T9, los cambios sugeridos son: cambio de conductores eléctricos, porque su vida útil está caducada, cambiar el sistema de neutro desnudo por el neutro con aislante que tiene que ir incluida al remodelar la instalación, así también sus dispositivos como lo son flipónes, tomacorrientes y luminarias en mal estado.
2. De acuerdo al análisis de calidad de energía, se hace necesario balancear las cargas en el edificio T9 y después poner un banco de capacitores (capacidad 8 KVAR), para corregir el bajo factor de potencia que existe en ciertos horarios y que sea semiautomático o automático para que pueda compensar, según la necesidad que se tenga, y que pueda tener por lo menos 2 etapas de 4 Kvar, este se tiene que colocar teniendo como referencia la fase3 (L3) y así compensar trifásicamente el factor de potencia y mantenerlo en un rango deseado para no tener penalización por parte de la empresa eléctrica de Guatemala S. A. obteniendo como beneficio , disminuir los riesgos de operación, evitar sobrecargas en interruptores y cables.

3. De acuerdo al análisis de calidad de energía realizado al edificio S8 no hay que realizar ninguna modificación que pueda ayudar a mantener el mismo, ya que los parámetros medidos no presentaron anomalía en su modelación y tanto su factor de potencia como su balanceo de cargas es normal.
  
4. Poner en funcionamiento el sistema de puesta a tierra (SPT) que se plantea en este informe (capítulo 6) como necesidad e importancia que tendría en el sistema eléctrico de los edificios (S8 y T9), para seguridad eléctrica de los equipos electrónicos y por protección humana.
  
5. Se hace necesario pensar en un futuro y realizar un estudio general para poder incluir al Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como bloque único, como cliente mayoritario en la incorporación al Administrado de Mercado Mayorista (AMM)

## BIBLIOGRAFÍA

1. Enríquez Harper, Gilberto. **El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales**. 1ra. edición. s. a. Editorial Limusa. 227 pp
2. López Hernández, Gonzalo. **Manual para instalaciones eléctricas**. 3era edición. s.a. 187 pp
3. Koenigsberger, Rodolfo, **Instalaciones Eléctricas. Tesis ing. Eléctrica**. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1982, 156 pp
4. Bratu Serban, Neagu y Eduardo Campero Littlewood. **Instalaciones eléctricas. Conceptos básicos y diseño**. 2ª edición. Alfaomega, 1994. 150pp
5. Re, Vitorio. **Instalación de puesta a tierra**. Marcombo boixareu editores. s. a. 96 pp



## **ANEXO A**

Tabla A-1. Capacidad de carga por calibre según el tipo de cable  
Temperatura ambiente de 30°C

CALIBRE AWG o MCM	UN CABLE AL AIRE LIBRE			TRES CABLES EN CONDUIT o ENTERRADOS		
	TIPOS DE CABLE			TIPOS DE CABLE		
	TW	THW THWN XHHW*	THHN XHHW**	TW	THW THWN XHHW*	THHN XHHW**
		TTU	TTU		TTU	TTU
	TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN			TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN		
60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
14	20	30	30	20	20	25
12	25	35	40	25	25	30
10	40	50	55	30	35	40
8	55	70	80	40	50	55
6	80	95	105	55	65	75
4	105	125	140	70	85	95
2	140	170	190	95	115	130
1	165	195	220	110	130	150
1/0	195	230	260	125	150	170
2/0	225	265	300	145	175	195
3/0	260	310	350	165	200	225
4/0	300	360	405	195	230	260
250	340	405	455	215	255	290
300	375	445	505	240	285	320
350	420	505	570	260	310	350
400	455	545	615	280	335	380
500	515	620	700	320	380	430
600	575	690	780	355	420	475
750	655	785	885	400	475	535
1000	780	935	1055	455	545	615

VALORES EN AMPERIOS

\* LUGARES HÚMEDOS

\*\* LUGARES SECOS

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-2. **Números máximo de cables en tubería metálica**

**Cables TF, TFN, TFFN, TW, THW, THHW**

TIPO DE CABLE	CAL.										
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
TF, TFN, TFFN	18	22	38	63	108	148	244				
	16	17	29	48	83	113	186				
TW	14	8	15	25	43	58	96	168	254	332	424
	12	6	11	19	33	45	74	119	195	255	326
	10	5	8	14	24	33	55	36	145	190	243
	8	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
THW, THHW	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
	10	3	6	10	18	24	40	70	106	138	177
	8	1	4	6	10	14	24	42	63	83	106
TW, THW, THHW	6	1	3	4	8	11	18	32	48	63	81
	4	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
	3	1	1	3	5	7	12	20	31	40	52
	2	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	1	1	1	1	3	4	7	12	18	24	31
	1/0		1	1	2	3	6	10	16	20	26
	2/0		1	1	1	3	5	9	13	17	22
	3/0		1	1	1	2	4	7	11	15	19
	4/0			1	1	1	3	6	9	12	16
	250			1	1	1	3	5	7	10	13
	300			1	1	1	2	4	6	8	11
	350				1	1	1	4	6	7	10
	400				1	1	1	3	5	7	9
	500				1	1	1	3	4	6	7
	600				1	1	1	2	3	4	6
	700					1	1	1	3	4	5
	750					1	1	1	3	4	5
800					1	1	1	3	3	5	
900						1	1	2	3	4	
1000						1	1	2	3	4	

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-3. Número máximo de cables en tubería metálica

**Cables THHN/THWN/THWN-2**

TIPO DE CABLE	CAL.	½"	¾"	1"	1-¼"	1-½"	2"	2-½"	3"	3-½"	4"
THHN, THWN	14	12	22	35	61	84	138	241	364	476	608
THWN-2	12	9	16	26	45	61	101	176	266	347	443
	10	5	10	16	28	38	63	111	167	219	279
	8	3	6	9	16	22	36	64	96	126	161
	6	2	4	7	12	16	26	46	69	91	116
	4	1	2	4	7	10	16	28	43	56	71
	3	1	1	3	6	8	13	24	36	47	60
	2	1	1	3	5	7	11	20	30	40	51
	1	1	1	1	4	5	8	15	22	29	37
	1/0	1	1	1	3	4	7	12	19	25	32
	2/0		1	1	2	3	6	10	16	20	26
	3/0		1	1	1	3	5	8	13	17	22
	4/0		1	1	1	2	4	7	11	14	18
	250			1	1	1	3	6	9	11	15
	300			1	1	1	3	5	7	10	13
	350			1	1	1	2	4	6	9	11
	400				1	1	1	4	6	8	10
	500				1	1	1	3	5	6	8
	600				1	1	1	2	4	5	7
	700				1	1	1	2	3	4	6
	750					1	1	1	3	4	5
	800					1	1	1	3	4	5
	900					1	1	1	3	3	4
	1000					1	1	1	2	3	4

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-4. Número máximo de cables en tubería metálica

**Cables TTU**

TIPO DE CABLE	CAL.	DIÁMETRO DE TUBERÍA									
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
TTU	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	1		1	1	1	3	5	9	13	17	22
	1/0		1	1	1	2	4	7	11	15	19
	2/0		1	1	1	2	4	6	10	13	17
	3/0			1	1	1	3	5	8	11	14
	4/0			1	1	1	3	5	7	9	12
	250				1	1	1	3	5	7	9
	300				1	1	1	3	5	6	8
	350				1	1	1	3	4	6	7
	400				1	1	1	2	4	5	7
	500					1	1	2	3	4	6
	600					1	1	1	3	4	5
	700						1	1	2	3	4
	750						1	1	2	3	4
	800						1	1	2	3	4
	900						1	1	1	3	3
	1000						1	1	1	2	3

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-5. Número máximo de cables en tubería conduit PVC

**Cables TF, TW, THW**

TIPO DE CABLE	CAL.	DIÁMETRO DE TUBERÍA					
		1/2"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"
TF	18	11	20	32	79	129	
	16	10	18	30	72	118	
TW	14	9	15	25	60	99	
THW		6	10	16	40	65	143
TW	12	7	12	19	47	78	171
THW		4	8	13	32	53	117
TW	10	5	9	15	36	60	131
THW		4	6	11	26	43	95
TW	8	2	4	7	17	28	62
THW		1	3	5	13	22	49
THW	6	1	2	4	10	16	36
	4	1	1	3	7	12	27
	2	1	1	2	5	9	20
	1		1	1	4	6	14
	1/0		1	1	3	5	12
	2/0		1	1	3	5	10
	3/0		1	1	2	4	9
	4/0			1	1	3	7
	250			1	1	2	6
	300			1	1	2	5
	350				1	1	4
	400				1	1	4

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-6. Número máximo de cables en ducto eléctrico PVC

**Cables THW**

		DIÁMETRO DE TUBERÍA				
TIPO DE CABLE	CAL.	2"	3"	4"	5"	6"
<b>THW</b>	<b>14</b>	65	143			
	<b>12</b>	53	117			
	<b>10</b>	43	95	163		
	<b>8</b>	22	49	85	133	
	<b>6</b>	16	36	62	97	141
	<b>4</b>	12	27	47	73	106
	<b>2</b>	9	20	34	54	78
	<b>1</b>	6	14	25	39	57
	<b>1/0</b>	5	12	21	33	49
	<b>2/0</b>	5	10	18	29	41
	<b>3/0</b>	4	9	15	24	35
	<b>4/0</b>	3	7	13	20	29
	<b>250</b>	2	6	10	16	23
	<b>300</b>	2	5	9	14	20
	<b>350</b>	1	4	8	12	18
	<b>400</b>	1	4	7	11	16
	<b>500</b>	1	3	6	9	14
	<b>600</b>	1	3	5	7	11
	<b>700</b>	1	2	4	7	10
	<b>750</b>	1	2	4	6	9

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-7. Número máximo de cables en ducto eléctrico PVC

**Cables TTU**

		DIÁMETRO DE TUBERÍA				
TIPO DE CABLE	CAL.	2"	3"	4"	5"	6"
TTU	14	63				
	12	50	111			
	10	39	87			
	8	24	52	91		
	6	15	33	56	89	129
	4	11	25	43	68	99
	2	8	19	32	51	74
	1	6	13	22	36	52
	1/0	5	11	19	30	44
	2/0	4	9	16	26	38
	3/0	3	8	14	22	32
	4/0	3	7	12	19	27
	250	1	5	9	14	20
	300	1	4	8	12	18
	350	1	4	7	11	16
	400	1	3	6	10	14
	500	1	3	5	8	12
	600	1	2	4	7	10
	700	1	1	4	6	9
	750	1	1	3	6	8
800	1	1	3	5	8	
900	1	1	3	5	7	
1000	1	1	3	4	7	

CALIBRES EN AWG/MCM

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-8. Factores de corrección de capacidad de carga para más de tres conductores en tubería

NUMERO DE CABLES	FACTOR DE CORRECCIÓN
4 a 6	0.80
7 a 9	0.70
10 a 20	0.50
21 a 30	0.45
31 a 40	0.40
41 o más	0.35

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-9. Factores de corrección de capacidad de carga para temperatura ambiente superior a 30°C

TEMPERATURA AMBIENTE EN °C	TEMPERATURA DE RÉGIMEN DEL CONDUCTOR		
	60 °C	75°C	90°C
40	0.82	0.88	0.91
45	0.71	0.82	0.87
50	0.58	0.75	0.82
55	0.41	0.67	0.76
60		0.58	0.71
70		0.33	0.58
80			0.41

Fuente: <http://www.loscables.com>

Tabla A-10. Conversión de tamaños de conductor - métrico <-> ingles

ÁREA CONDUCTOR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR INGLES	ÁREA CONDUCTOR INGLES
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MCM o AWG	cmil
520	-	-	1,024,000
508	-	1000	1,000,000
500	500	-	987,000
			-
449	-	-	884,000
400	400	-	788,000
381	-	750	750,000
			-
380	-	-	748,000
322	-	-	634,000
305	-	600	600,000
			-
300	300	-	592,000
273	-	-	537,000
254	-	500	500,000
			-
240	240	-	474,000
231	-	-	455,000
230	-	400	400,000
			-
195	-	-	384,000
185	185	-	365,000
178	-	350	350,000
			-
165	-	-	325,000
152	-	300	300,000
150	150	-	296,000
			-
140	-	-	276,000
127	-	250	250,000
120	120	-	237,000
			-
119	-	-	234,000
107	-	4/0 AWG	211,600
100	-	-	197,000
			-
95	95	-	187,000
85	-	3/0	167,800
72	-	-	141,800
			-
70	70	-	138,000
67	-	2/0	133,100
60.9	-	-	119,900
			-
54	-	1/0	105,600
51.6	-	-	101,600
50	50	-	98,500
			-

Fuente: anixter **wire & cable technical information handbook**

Tabla A-11. Conversión de tamaños de conductor - métrico <-> ingles

ÁREA CONDUCTOR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR INGLES	ÁREA CONDUCTOR INGLES
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MCM o AWG	cmil
43.7	-	-	86,100
42	-	1	83,700
37	-	-	72,900
35	35	-	69,100
34	-	2	66,360
31.3	-	-	61,660
27	-	3	52,620
25	25	-	49,300
22.4	-	-	44,128
21	-	4	41,740
19	-	-	37,430
17	-	5	33,090
16.1	-	-	31,717
16	16	-	31,600
13.6	-	-	26,792
13.3	-	6	26,240
11.5	-	-	22,655
10.5	-	7	20,820
10.00	10.00	-	19,700
9.77	-	-	19,246
8.38	-	8	16,510
8.27	-	-	16,292
7.00	-	-	13,790
6.64	-	9	13,090
6.00	6.00	-	11,800
5.93	-	-	11,682
5.26	-	10	10,380

Fuente: anixter **wire & cable technical information handbook**

Tabla A-12. Conversión de tamaños de conductor - métrico <-> ingles

ÁREA CONDUCTOR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR MÉTRICO	TAMAÑOS ESTÁNDAR INGLES	ÁREA CONDUCTOR INGLES
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	AWG	cmil
5.02	-	-	9.889
4.25	-	-	8.372
4.00	4.00	-	7.890
3.60	-	-	7.092
3.31	-	12	6.530
2.58	-	-	5.082
2.50	2.50	-	4.930
2.18	-	-	4.294
2.08	-	14	4.110
1.85	-	-	3.644
1.57	-	-	3.093
1.50	1.50	-	2.960
1.33	-	-	2.620
1.31	-	16	2.580
1.12	-	-	2.206
1.00	1.00	-	1.970
0.95	-	-	1.871
0.82	-	18	1.620
0.75	0.75	-	1.480
0.68	-	-	1.339
0.58	-	-	1.142
0.52	-	20	1.020
0.50	0.50	-	987
0.49	-	-	965
0.324	-	22	640
0.205	0.20	24	404
0.128	-	26	253
0.081	-	28	159
0.051	-	30	100
0.032	-	32	63.2
0.020	-	34	39.8
0.013	-	36	25.0
0.0080	-	38	15.7
0.0050	-	40	9.61
0.0032	-	42	6.25
0.0013	-	46	2.56

Fuente: anixter **wire & cable technical information handbook**

## **ANEXO B**

**Tabla B-1. Voltaje línea a neutro, tensión trifásica, corriente monofásica y corriente trifásica del edificio S8**

HORA DE LA MUESTRA	L1 (V)	L2 (V)	L3 (V)	III (V)
10:00:35 a.m.	121	123	122	122
10:15:00 a.m.	120	123	122	121
10:30:00 a.m.	120	123	122	121
10:45:00 a.m.	120	123	122	121
11:00:00 a.m.	121	123	122	122
11:15:00 a.m.	120	123	122	121
11:30:00 a.m.	120	123	122	121
11:45:00 a.m.	121	124	123	122
12:00:00 p.m.	122	124	123	123
12:15:00 p.m.	121	124	123	122
12:30:00 p.m.	121	124	123	122
12:45:00 p.m.	121	124	122	122
1:00:00 p.m.	121	124	122	122
1:15:00 p.m.	120	124	122	122
1:30:00 p.m.	119	124	121	121
1:45:00 p.m.	119	123	121	121
2:00:00 p.m.	119	123	121	121
2:15:00 p.m.	119	123	120	120
2:30:00 p.m.	119	123	120	120
2:45:00 p.m.	118	123	120	120
3:00:00 p.m.	118	123	120	120
3:15:00 p.m.	119	123	120	120
3:30:00 p.m.	119	123	121	121
3:45:00 p.m.	119	123	121	121
4:00:00 p.m.	120	124	122	122
4:15:00 p.m.	119	123	122	121
4:30:00 p.m.	119	123	121	121
4:45:00 p.m.	119	123	121	121
5:00:00 p.m.	119	123	121	121
5:15:00 p.m.	119	123	121	121
5:30:00 p.m.	119	122	120	120
5:45:00 p.m.	119	123	121	121
6:00:00 p.m.	120	124	122	122
6:15:00 p.m.	119	124	122	121
6:30:00 p.m.	120	124	122	122
6:45:00 p.m.	120	124	122	122
7:00:00 p.m.	120	124	122	122
7:15:00 p.m.	121	124	122	122
7:30:00 p.m.	121	124	123	122
7:45:00 p.m.	122	125	123	123

HORA DE LA MUESTRA	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	III (A)
10:00:35 a.m.	22	38	28	29
10:15:00 a.m.	22	39	30	30
10:30:00 a.m.	27	29	29	28
10:45:00 a.m.	25	27	29	27
11:00:00 a.m.	30	29	29	29
11:15:00 a.m.	31	34	28	31
11:30:00 a.m.	30	36	30	32
11:45:00 a.m.	28	49	37	38
12:00:00 p.m.	35	46	29	36
12:15:00 p.m.	34	45	31	36
12:30:00 p.m.	30	43	33	35
12:45:00 p.m.	30	33	29	31
1:00:00 p.m.	30	52	23	35
1:15:00 p.m.	31	57	30	39
1:30:00 p.m.	62	74	46	60
1:45:00 p.m.	77	90	52	73
2:00:00 p.m.	91	101	56	83
2:15:00 p.m.	94	104	60	86
2:30:00 p.m.	98	106	59	88
2:45:00 p.m.	106	102	60	89
3:00:00 p.m.	116	104	60	93
3:15:00 p.m.	123	119	60	100
3:30:00 p.m.	125	118	61	101
3:45:00 p.m.	132	120	60	104
4:00:00 p.m.	133	119	61	104
4:15:00 p.m.	131	137	63	110
4:30:00 p.m.	128	142	98	123
4:45:00 p.m.	132	148	124	135
5:00:00 p.m.	139	143	131	138
5:15:00 p.m.	148	146	132	142
5:30:00 p.m.	151	148	133	144
5:45:00 p.m.	158	166	134	152
6:00:00 p.m.	153	165	132	150
6:15:00 p.m.	156	170	131	153
6:30:00 p.m.	157	173	116	148
6:45:00 p.m.	151	169	99	140
7:00:00 p.m.	147	166	99	137
7:15:00 p.m.	138	163	79	126
7:30:00 p.m.	132	128	67	109
7:45:00 p.m.	125	102	67	98

**Tabla B-2. Potencia activa monofásica, trifásica, potencia reactiva inductiva monofásica y trifásica del edificio S8**

HORA DE LA MUESTRA	L1 ((kW)	L2 ((kW)	L3 ((kW)	III ((kW)	HORA DE LA MUESTRA	L1 (kvar)	L2 (kvar)	L3 (kvar)	III (kvar)
10:00:35 a.m.	2.5	4.5	3.4	10.4	10:00:35 a.m.	0.7	0.6	0.0	1.2
10:15:00 a.m.	2.5	4.7	3.6	10.8	10:15:00 a.m.	0.7	0.6	0.0	1.3
10:30:00 a.m.	3.1	3.5	3.4	10.0	10:30:00 a.m.	0.5	0.5	0.0	1.0
10:45:00 a.m.	2.9	3.3	3.4	9.5	10:45:00 a.m.	0.3	0.5	0.0	0.8
11:00:00 a.m.	3.4	3.5	3.5	10.4	11:00:00 a.m.	0.3	0.6	0.0	0.8
11:15:00 a.m.	3.5	4.0	3.3	10.9	11:15:00 a.m.	0.2	0.6	0.0	0.8
11:30:00 a.m.	3.4	4.4	3.5	11.3	11:30:00 a.m.	0.2	0.7	0.0	0.9
11:45:00 a.m.	3.2	5.9	4.4	13.6	11:45:00 a.m.	0.2	0.8	0.5	1.5
12:00:00 p.m.	4.0	5.7	3.4	13.1	12:00:00 p.m.	0.7	0.6	0.0	1.3
12:15:00 p.m.	3.9	5.5	3.7	13.1	12:15:00 p.m.	0.8	0.6	0.0	1.4
12:30:00 p.m.	3.5	5.2	3.9	12.7	12:30:00 p.m.	0.6	0.6	0.0	1.2
12:45:00 p.m.	3.5	4.0	3.5	11.0	12:45:00 p.m.	0.4	0.6	0.0	1.0
1:00:00 p.m.	3.4	6.5	2.8	12.7	1:00:00 p.m.	0.3	0.6	0.0	0.9
1:15:00 p.m.	3.6	7.0	3.6	14.1	1:15:00 p.m.	0.3	0.7	0.0	1.0
1:30:00 p.m.	7.0	9.0	5.5	21.5	1:30:00 p.m.	2.0	1.1	0.0	3.1
1:45:00 p.m.	8.8	10.9	6.2	26.0	1:45:00 p.m.	2.3	1.7	0.0	3.9
2:00:00 p.m.	10.6	12.1	6.7	29.4	2:00:00 p.m.	1.9	2.4	0.0	4.3
2:15:00 p.m.	10.9	12.6	7.1	30.6	2:15:00 p.m.	1.9	1.6	0.0	3.5
2:30:00 p.m.	11.3	12.7	7.0	31.0	2:30:00 p.m.	1.8	2.6	0.0	4.4
2:45:00 p.m.	12.1	12.3	7.1	31.5	2:45:00 p.m.	2.2	2.4	0.0	4.6
3:00:00 p.m.	13.4	12.5	7.1	33.1	3:00:00 p.m.	2.3	2.2	0.0	4.4
3:15:00 p.m.	14.3	14.3	7.1	35.7	3:15:00 p.m.	2.0	2.3	0.0	4.3
3:30:00 p.m.	14.6	14.3	7.2	36.0	3:30:00 p.m.	2.0	2.5	0.0	4.5
3:45:00 p.m.	15.3	14.3	7.3	36.9	3:45:00 p.m.	2.1	2.8	0.0	4.9
4:00:00 p.m.	15.5	14.3	7.4	37.2	4:00:00 p.m.	2.1	2.5	0.0	4.6
4:15:00 p.m.	15.3	16.1	7.6	39.0	4:15:00 p.m.	2.0	4.7	0.0	6.7
4:30:00 p.m.	14.9	16.8	11.7	43.4	4:30:00 p.m.	1.9	4.8	0.4	7.1
4:45:00 p.m.	15.4	17.5	14.8	47.7	4:45:00 p.m.	2.2	4.7	1.0	7.9
5:00:00 p.m.	16.1	16.9	15.8	48.8	5:00:00 p.m.	3.1	4.7	1.4	9.2
5:15:00 p.m.	17.0	17.2	15.9	50.1	5:15:00 p.m.	3.6	4.8	1.1	9.5
5:30:00 p.m.	17.5	17.5	15.9	50.9	5:30:00 p.m.	3.2	4.1	1.1	8.4
5:45:00 p.m.	18.5	19.9	16.1	54.5	5:45:00 p.m.	2.8	4.6	1.1	8.5
6:00:00 p.m.	18.0	19.9	16.0	53.9	6:00:00 p.m.	2.9	4.7	1.1	8.7
6:15:00 p.m.	18.3	20.3	15.9	54.5	6:15:00 p.m.	2.9	5.5	1.1	9.5
6:30:00 p.m.	18.4	20.6	14.0	53.1	6:30:00 p.m.	3.0	5.7	1.1	9.7
6:45:00 p.m.	17.9	20.3	12.0	50.2	6:45:00 p.m.	2.9	5.3	1.2	9.5
7:00:00 p.m.	17.4	19.9	11.8	49.1	7:00:00 p.m.	3.0	5.2	1.8	10.0
7:15:00 p.m.	16.3	19.6	9.5	45.4	7:15:00 p.m.	3.1	4.8	1.0	8.9
7:30:00 p.m.	15.6	15.5	8.1	39.2	7:30:00 p.m.	3.3	3.4	1.0	7.7
7:45:00 p.m.	14.7	12.5	8.2	35.4	7:45:00 p.m.	3.5	2.1	1.0	6.6

**Tabla B-3. Energía activa, reactiva, aparente, factor de potencia monofásico y factor de potencia trifásico del I edificio S8**

HORA DE LA MUESTRA	kWh	(kvarh)	(kvah)	HORA DE LA MUESTRA	cos $\phi$ L1	cos $\phi$ L2	cos $\phi$ L3	cos $\phi$ III
10:00:35 a.m.	1875.68	179.089	1884.2	10:00:35 a.m.	0.7	0.6	0.0	1.2
10:15:00 a.m.	1878.38	179.416	1886.9	10:15:00 a.m.	0.7	0.6	0.0	1.3
10:30:00 a.m.	1880.89	179.68	1889.5	10:30:00 a.m.	0.5	0.5	0.0	1.0
10:45:00 a.m.	1883.29	179.873	1891.9	10:45:00 a.m.	0.3	0.5	0.0	0.8
11:00:00 a.m.	1885.9	180.089	1894.5	11:00:00 a.m.	0.3	0.6	0.0	0.8
11:15:00 a.m.	1888.63	180.297	1897.2	11:15:00 a.m.	0.2	0.6	0.0	0.8
11:30:00 a.m.	1891.47	180.531	1900.1	11:30:00 a.m.	0.2	0.7	0.0	0.9
11:45:00 a.m.	1894.88	180.945	1903.5	11:45:00 a.m.	0.2	0.8	0.5	1.5
12:00:00 p.m.	1898.16	181.263	1906.8	12:00:00 p.m.	0.7	0.6	0.0	1.3
12:15:00 p.m.	1901.44	181.629	1910.1	12:15:00 p.m.	0.8	0.6	0.0	1.4
12:30:00 p.m.	1904.61	181.938	1913.3	12:30:00 p.m.	0.6	0.6	0.0	1.2
12:45:00 p.m.	1907.37	182.196	1916.0	12:45:00 p.m.	0.4	0.6	0.0	1.0
1:00:00 p.m.	1910.55	182.426	1919.2	1:00:00 p.m.	0.3	0.6	0.0	0.9
1:15:00 p.m.	1914.07	182.671	1922.8	1:15:00 p.m.	0.3	0.7	0.0	1.0
1:30:00 p.m.	1919.45	183.439	1928.2	1:30:00 p.m.	2.0	1.1	0.0	3.1
1:45:00 p.m.	1925.95	184.424	1934.8	1:45:00 p.m.	2.3	1.7	0.0	3.9
2:00:00 p.m.	1933.32	185.509	1942.2	2:00:00 p.m.	1.9	2.4	0.0	4.3
2:15:00 p.m.	1940.97	186.386	1949.9	2:15:00 p.m.	1.9	1.6	0.0	3.5
2:30:00 p.m.	1948.74	187.492	1957.7	2:30:00 p.m.	1.8	2.6	0.0	4.4
2:45:00 p.m.	1956.61	188.651	1965.7	2:45:00 p.m.	2.2	2.4	0.0	4.6
3:00:00 p.m.	1964.89	189.767	1974.0	3:00:00 p.m.	2.3	2.2	0.0	4.4
3:15:00 p.m.	1973.83	190.856	1983.0	3:15:00 p.m.	2.0	2.3	0.0	4.3
3:30:00 p.m.	1982.85	191.979	1992.1	3:30:00 p.m.	2.0	2.5	0.0	4.5
3:45:00 p.m.	1992.09	193.215	2001.4	3:45:00 p.m.	2.1	2.8	0.0	4.9
4:00:00 p.m.	2001.41	194.383	2010.8	4:00:00 p.m.	2.1	2.5	0.0	4.6
4:15:00 p.m.	2011.17	196.064	2020.7	4:15:00 p.m.	2.0	4.7	0.0	6.7
4:30:00 p.m.	2022.03	197.843	2031.7	4:30:00 p.m.	1.9	4.8	0.4	7.1
4:45:00 p.m.	2033.98	199.819	2043.8	4:45:00 p.m.	2.2	4.7	1.0	7.9
5:00:00 p.m.	2046.2	202.121	2056.2	5:00:00 p.m.	3.1	4.7	1.4	9.2
5:15:00 p.m.	2058.74	204.511	2068.9	5:15:00 p.m.	3.6	4.8	1.1	9.5
5:30:00 p.m.	2071.48	206.617	2081.8	5:30:00 p.m.	3.2	4.1	1.1	8.4
5:45:00 p.m.	2085.12	208.758	2095.5	5:45:00 p.m.	2.8	4.6	1.1	8.5
6:00:00 p.m.	2098.6	210.939	2109.2	6:00:00 p.m.	2.9	4.7	1.1	8.7
6:15:00 p.m.	2112.24	213.309	2123.0	6:15:00 p.m.	2.9	5.5	1.1	9.5
6:30:00 p.m.	2125.53	215.748	2136.4	6:30:00 p.m.	3.0	5.7	1.1	9.7
6:45:00 p.m.	2138.07	218.119	2149.2	6:45:00 p.m.	2.9	5.3	1.2	9.5
7:00:00 p.m.	2150.37	220.633	2161.7	7:00:00 p.m.	3.0	5.2	1.8	10.0
7:15:00 p.m.	2161.74	222.855	2173.2	7:15:00 p.m.	3.1	4.8	1.0	8.9
7:30:00 p.m.	2171.55	224.777	2183.2	7:30:00 p.m.	3.3	3.4	1.0	7.7
7:45:00 p.m.	2180.43	226.429	2192.2	7:45:00 p.m.	3.5	2.1	1.0	6.6

**Tabla B-4. Factor de distorsión Armónica del edificio S8**

HORA DE LA MUESTRA	%V L1 (THD)	%V L2 (THD)	%V L3 (THD)	%d L1 (THD)	%d L2 (THD)	%d L3 (THD)
10:00:35 a.m.	2	3	4	24	15	23
10:15:00 a.m.	2	3	3	23	17	23
10:30:00 a.m.	3	3	3	30	17	25
10:45:00 a.m.	3	3	4	32	22	19
11:00:00 a.m.	3	3	4	34	21	24
11:15:00 a.m.	2	3	3	26	18	25
11:30:00 a.m.	2	3	3	33	20	24
11:45:00 a.m.	3	3	3	32	16	16
12:00:00 p.m.	2	3	3	27	12	20
12:15:00 p.m.	2	3	4	27	12	20
12:30:00 p.m.	2	3	3	26	14	15
12:45:00 p.m.	2	3	3	26	19	24
1:00:00 p.m.	2	3	3	32	19	23
1:15:00 p.m.	3	3	3	30	10	26
1:30:00 p.m.	3	3	3	30	15	22
1:45:00 p.m.	3	3	3	12	16	17
2:00:00 p.m.	3	3	3	13	15	15
2:15:00 p.m.	3	3	4	16	16	16
2:30:00 p.m.	3	3	3	15	14	15
2:45:00 p.m.	3	3	4	20	17	16
3:00:00 p.m.	3	3	4	19	14	16
3:15:00 p.m.	3	3	4	18	15	16
3:30:00 p.m.	3	3	4	18	15	16
3:45:00 p.m.	3	3	4	20	17	14
4:00:00 p.m.	3	4	4	19	15	16
4:15:00 p.m.	4	4	4	19	15	14
4:30:00 p.m.	4	4	4	21	14	15
4:45:00 p.m.	4	4	4	19	12	14
5:00:00 p.m.	3	3	4	19	14	12
5:15:00 p.m.	4	4	4	17	14	13
5:30:00 p.m.	4	4	4	15	14	13
5:45:00 p.m.	4	3	4	14	11	13
6:00:00 p.m.	4	4	4	15	10	14
6:15:00 p.m.	4	3	4	14	11	13
6:30:00 p.m.	4	3	4	14	9	13
6:45:00 p.m.	4	3	4	14	9	15
7:00:00 p.m.	3	3	3	14	10	15
7:15:00 p.m.	3	3	3	13	11	14
7:30:00 p.m.	3	3	3	12	11	15
7:45:00 p.m.	3	3	3	11	12	16

**Tabla B-5. Voltaje línea a neutro y tensión trifásica del edificio T9**

HORA DE LA MUESTRA	L1 (V)	L2 (V)	L3 (V)	III (V)
6:23:20 p.m.	122	122	121	121
6:30:00 p.m.	122	123	121	122
6:45:00 p.m.	123	123	122	122
7:00:00 p.m.	122	123	121	122
7:15:00 p.m.	120	121	120	120
7:30:00 p.m.	119	121	119	119
7:45:00 p.m.	120	121	119	120
8:00:00 p.m.	120	121	119	120
8:15:00 p.m.	120	121	120	120
8:30:00 p.m.	121	122	120	121
8:45:00 p.m.	121	123	121	121
9:00:00 p.m.	122	123	121	122
9:15:00 p.m.	122	123	121	122
9:30:00 p.m.	123	123	121	122
9:45:00 p.m.	123	124	122	123
10:00:00 p.m.	123	124	122	123
10:15:00 p.m.	122	123	121	122
10:30:00 p.m.	123	124	122	123
10:45:00 p.m.	123	125	123	123
11:00:00 p.m.	124	125	122	123
11:15:00 p.m.	123	125	122	123
11:30:00 p.m.	124	125	122	123
11:45:00 p.m.	124	125	123	124
12:00:00 a.m.	123	125	123	123
12:15:00 a.m.	122	124	121	122
12:30:00 a.m.	122	123	121	122
12:45:00 a.m.	122	123	121	122
1:00:00 a.m.	121	123	121	121
1:15:00 a.m.	122	123	121	122
1:30:00 a.m.	122	123	121	122
1:45:00 a.m.	122	123	121	122
2:00:00 a.m.	121	123	121	121
2:15:00 a.m.	122	123	121	122
2:30:00 a.m.	122	123	121	122
2:45:00 a.m.	122	123	121	122
3:00:00 a.m.	122	123	121	122
3:15:00 a.m.	122	124	121	122
3:30:00 a.m.	122	123	121	122
3:45:00 a.m.	122	123	121	122
4:00:00 a.m.	122	123	121	122
4:15:00 a.m.	121	123	121	121
4:30:00 a.m.	121	123	120	121
4:45:00 a.m.	121	122	120	121
5:00:00 a.m.	121	122	120	121
5:15:00 a.m.	121	122	121	121
5:30:00 a.m.	121	122	120	121
5:45:00 a.m.	121	122	120	121
6:00:00 a.m.	121	122	120	121

HORA DE LA MUESTRA	L1 (V)	L2 (V)	L3 (V)	III (V)
6:15:00 a.m.	122	123	121	122
6:30:00 a.m.	122	123	121	122
6:45:00 a.m.	123	124	122	123
7:00:00 a.m.	121	122	121	121
7:15:00 a.m.	120	121	119	120
7:30:00 a.m.	121	122	120	121
7:45:00 a.m.	121	122	119	120
8:00:00 a.m.	121	122	119	120
8:15:00 a.m.	120	121	119	120
8:30:00 a.m.	119	120	119	119
8:45:00 a.m.	119	121	119	119
9:00:00 a.m.	119	121	119	119
9:15:00 a.m.	119	121	119	119
9:30:00 a.m.	119	121	119	119
9:45:00 a.m.	119	121	118	119
10:00:00 a.m.	120	121	119	120
10:15:00 a.m.	119	120	118	119
10:30:00 a.m.	119	120	118	119
10:45:00 a.m.	119	120	118	119
11:00:00 a.m.	119	120	118	119
11:15:00 a.m.	120	120	118	119
11:30:00 a.m.	120	120	118	119
11:45:00 a.m.	120	120	118	119
12:00:00 p.m.	121	121	119	120
12:15:00 p.m.	122	122	120	121
12:30:00 p.m.	122	122	120	121
12:45:00 p.m.	122	122	120	121
1:00:00 p.m.	122	122	120	121
1:15:00 p.m.	121	121	120	120
1:30:00 p.m.	121	122	119	120
1:45:00 p.m.	121	121	119	120
2:00:00 p.m.	120	120	118	119
2:15:00 p.m.	119	120	118	119
2:30:00 p.m.	119	121	118	119
2:45:00 p.m.	119	121	118	119
3:00:00 p.m.	120	121	118	119
3:15:00 p.m.	120	121	118	119
3:30:00 p.m.	120	121	119	120
3:45:00 p.m.	121	121	119	120
4:00:00 p.m.	121	122	119	120
4:15:00 p.m.	121	122	120	121
4:30:00 p.m.	120	121	120	120
4:45:00 p.m.	121	121	120	120
5:00:00 p.m.	120	121	120	120
5:15:00 p.m.	120	121	120	120
5:30:00 p.m.	120	121	120	120
5:45:00 p.m.	120	121	120	120
6:00:00 p.m.	120	121	120	120



Tabla B-7. Corriente monofásica y trifásica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	III (A)
6:23:20 p.m.	76	108	83	89
6:30:00 p.m.	69	98	75	81
6:45:00 p.m.	77	85	63	75
7:00:00 p.m.	79	83	66	76
7:15:00 p.m.	88	89	74	84
7:30:00 p.m.	80	87	69	79
7:45:00 p.m.	78	73	56	69
8:00:00 p.m.	74	52	48	58
8:15:00 p.m.	73	41	47	54
8:30:00 p.m.	67	38	46	50
8:45:00 p.m.	55	36	45	45
9:00:00 p.m.	49	33	42	41
9:15:00 p.m.	18	17	29	21
9:30:00 p.m.	10	11	28	16
9:45:00 p.m.	6	16	29	17
10:00:00 p.m.	8	12	29	16
10:15:00 p.m.	7	12	29	16
10:30:00 p.m.	6	11	27	14
10:45:00 p.m.	6	10	27	14
11:00:00 p.m.	6	9	27	14
11:15:00 p.m.	6	9	26	14
11:30:00 p.m.	5	10	25	14
11:45:00 p.m.	5	8	30	14
12:00:00 a.m.	5	9	30	15
12:15:00 a.m.	5	9	26	13
12:30:00 a.m.	5	9	26	13
12:45:00 a.m.	5	12	26	14
1:00:00 a.m.	5	10	24	13
1:15:00 a.m.	6	10	25	14
1:30:00 a.m.	5	8	27	13
1:45:00 a.m.	5	10	29	15
2:00:00 a.m.	5	9	25	13
2:15:00 a.m.	5	8	24	12
2:30:00 a.m.	5	9	28	14
2:45:00 a.m.	6	9	27	14
3:00:00 a.m.	5	10	25	14
3:15:00 a.m.	5	9	26	13
3:30:00 a.m.	5	9	27	14
3:45:00 a.m.	5	8	27	13
4:00:00 a.m.	5	11	24	13
4:15:00 a.m.	5	8	27	13
4:30:00 a.m.	6	9	27	14
4:45:00 a.m.	5	10	24	13
5:00:00 a.m.	5	9	26	13
5:15:00 a.m.	5	10	26	14
5:30:00 a.m.	6	10	25	14
5:45:00 a.m.	6	14	25	15
6:00:00 a.m.	14	20	29	21

HORA DE LA MUESTRA	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	III (A)
6:15:00 a.m.	25	21	35	27
6:30:00 a.m.	22	32	40	31
6:45:00 a.m.	27	33	35	32
7:00:00 a.m.	30	56	45	44
7:15:00 a.m.	29	58	54	47
7:30:00 a.m.	38	66	65	56
7:45:00 a.m.	59	70	84	71
8:00:00 a.m.	68	78	84	77
8:15:00 a.m.	85	87	68	80
8:30:00 a.m.	93	87	64	81
8:45:00 a.m.	105	90	67	87
9:00:00 a.m.	104	97	82	95
9:15:00 a.m.	91	96	98	95
9:30:00 a.m.	91	102	94	96
9:45:00 a.m.	96	102	100	99
10:00:00 a.m.	98	104	97	100
10:15:00 a.m.	96	115	102	104
10:30:00 a.m.	91	103	107	100
10:45:00 a.m.	81	100	116	99
11:00:00 a.m.	84	120	120	108
11:15:00 a.m.	84	122	107	105
11:30:00 a.m.	81	123	113	106
11:45:00 a.m.	83	134	109	109
12:00:00 p.m.	91	132	116	113
12:15:00 p.m.	96	122	108	109
12:30:00 p.m.	93	122	110	108
12:45:00 p.m.	92	119	111	107
1:00:00 p.m.	82	116	108	102
1:15:00 p.m.	82	123	109	105
1:30:00 p.m.	80	117	119	105
1:45:00 p.m.	82	111	115	102
2:00:00 p.m.	84	116	119	106
2:15:00 p.m.	86	109	121	105
2:30:00 p.m.	80	102	118	100
2:45:00 p.m.	78	100	121	100
3:00:00 p.m.	78	103	113	98
3:15:00 p.m.	75	102	114	97
3:30:00 p.m.	70	102	97	90
3:45:00 p.m.	71	106	95	90
4:00:00 p.m.	74	104	99	92
4:15:00 p.m.	95	113	118	109
4:30:00 p.m.	101	122	110	111
4:45:00 p.m.	98	122	106	109
5:00:00 p.m.	92	110	114	105
5:15:00 p.m.	95	112	113	107
5:30:00 p.m.	104	102	106	104
5:45:00 p.m.	107	97	107	104
6:00:00 p.m.	91	103	109	101



Tabla B-9. Potencia activa, monofásica y trifásica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	L1 (kW)	L2 (kW)	L3 (kW)	III (kW)
6:23:20 p.m.	9	13	10	32
6:30:00 p.m.	8	12	9	29
6:45:00 p.m.	9	10	7	27
7:00:00 p.m.	9	10	8	27
7:15:00 p.m.	10	11	8	29
7:30:00 p.m.	9	10	7	27
7:45:00 p.m.	9	9	6	23
8:00:00 p.m.	8	6	4	19
8:15:00 p.m.	8	5	4	18
8:30:00 p.m.	8	5	4	16
8:45:00 p.m.	6	4	4	14
9:00:00 p.m.	5	4	4	13
9:15:00 p.m.	2	2	3	7
9:30:00 p.m.	1	1	3	5
9:45:00 p.m.	1	2	3	5
10:00:00 p.m.	1	1	3	5
10:15:00 p.m.	1	1	3	5
10:30:00 p.m.	1	1	2	4
10:45:00 p.m.	1	1	2	4
11:00:00 p.m.	1	1	2	4
11:15:00 p.m.	1	1	2	4
11:30:00 p.m.	1	1	2	4
11:45:00 p.m.	0	1	2	4
12:00:00 a.m.	1	1	3	4
12:15:00 a.m.	0	1	2	4
12:30:00 a.m.	0	1	2	4
12:45:00 a.m.	0	1	2	4
1:00:00 a.m.	0	1	2	4
1:15:00 a.m.	1	1	2	4
1:30:00 a.m.	0	1	2	4
1:45:00 a.m.	0	1	3	4
2:00:00 a.m.	1	1	2	4
2:15:00 a.m.	0	1	2	3
2:30:00 a.m.	0	1	2	4
2:45:00 a.m.	1	1	2	4
3:00:00 a.m.	0	1	2	4
3:15:00 a.m.	1	1	2	4
3:30:00 a.m.	0	1	2	4
3:45:00 a.m.	0	1	2	4
4:00:00 a.m.	1	1	2	4
4:15:00 a.m.	0	1	2	4
4:30:00 a.m.	1	1	2	4
4:45:00 a.m.	0	1	2	4
5:00:00 a.m.	0	1	2	4
5:15:00 a.m.	1	1	2	4
5:30:00 a.m.	1	1	2	4
5:45:00 a.m.	1	2	2	5
6:00:00 a.m.	2	2	3	7

HORA DE LA MUESTRA	L1 (kW)	L2 (kW)	L3 (kW)	III (kW)
6:15:00 a.m.	3	3	4	9
6:30:00 a.m.	2	4	4	10
6:45:00 a.m.	3	4	4	11
7:00:00 a.m.	3	7	5	15
7:15:00 a.m.	3	7	6	16
7:30:00 a.m.	4	8	7	20
7:45:00 a.m.	7	8	10	25
8:00:00 a.m.	8	9	10	27
8:15:00 a.m.	10	10	8	28
8:30:00 a.m.	11	10	7	29
8:45:00 a.m.	12	11	8	31
9:00:00 a.m.	12	12	10	33
9:15:00 a.m.	11	11	11	33
9:30:00 a.m.	11	12	11	34
9:45:00 a.m.	11	12	12	35
10:00:00 a.m.	11	12	11	35
10:15:00 a.m.	11	14	12	37
10:30:00 a.m.	11	12	12	35
10:45:00 a.m.	9	12	14	35
11:00:00 a.m.	10	14	14	38
11:15:00 a.m.	10	14	12	37
11:30:00 a.m.	10	14	13	37
11:45:00 a.m.	10	16	13	38
12:00:00 p.m.	11	16	14	40
12:15:00 p.m.	12	15	13	39
12:30:00 p.m.	11	15	13	39
12:45:00 p.m.	11	14	13	38
1:00:00 p.m.	10	14	13	36
1:15:00 p.m.	10	15	13	37
1:30:00 p.m.	10	14	14	37
1:45:00 p.m.	10	13	13	36
2:00:00 p.m.	10	14	14	37
2:15:00 p.m.	10	13	14	37
2:30:00 p.m.	9	12	14	35
2:45:00 p.m.	9	12	14	35
3:00:00 p.m.	9	12	13	34
3:15:00 p.m.	9	12	13	34
3:30:00 p.m.	8	12	11	32
3:45:00 p.m.	8	13	11	32
4:00:00 p.m.	9	12	12	33
4:15:00 p.m.	11	14	14	38
4:30:00 p.m.	11	15	13	39
4:45:00 p.m.	11	15	12	38
5:00:00 p.m.	10	13	13	37
5:15:00 p.m.	11	13	13	37
5:30:00 p.m.	12	12	12	36
5:45:00 p.m.	12	12	12	36
6:00:00 p.m.	10	12	13	35



Tabla B-11. Potencia reactiva inductiva, monofásica y trifásica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	L1 (kvar)	L2 (kvar)	L3 (kvar)	III (kvar)
6:23:20 p.m.	1.77	0.45	0.96	3.18
6:30:00 p.m.	1.89	0.26	1.43	3.58
6:45:00 p.m.	2.02	0.27	1.69	3.98
7:00:00 p.m.	1.91	0.29	1.95	4.15
7:15:00 p.m.	2.54	0.72	3.34	6.60
7:30:00 p.m.	2.64	1.03	3.50	7.17
7:45:00 p.m.	2.43	0.00	3.46	5.90
8:00:00 p.m.	2.62	0.00	3.52	6.14
8:15:00 p.m.	2.64	0.00	3.43	6.07
8:30:00 p.m.	2.81	0.00	3.70	6.52
8:45:00 p.m.	3.02	0.00	3.62	6.64
9:00:00 p.m.	2.69	0.00	3.27	5.97
9:15:00 p.m.	0.52	0.00	2.22	2.74
9:30:00 p.m.	0.03	0.00	2.22	2.26
9:45:00 p.m.	0.09	0.12	2.41	2.62
10:00:00 p.m.	0.17	0.00	2.41	2.59
10:15:00 p.m.	0.09	0.00	2.26	2.34
10:30:00 p.m.	0.10	0.05	2.26	2.41
10:45:00 p.m.	0.10	0.00	2.26	2.36
11:00:00 p.m.	0.12	0.00	2.24	2.36
11:15:00 p.m.	0.12	0.00	2.19	2.31
11:30:00 p.m.	0.19	0.09	2.10	2.38
11:45:00 p.m.	0.16	0.00	2.62	2.78
12:00:00 a.m.	0.12	0.03	2.55	2.71
12:15:00 a.m.	0.12	0.00	2.15	2.28
12:30:00 a.m.	0.10	0.00	2.07	2.17
12:45:00 a.m.	0.10	0.05	2.17	2.33
1:00:00 a.m.	0.12	0.00	2.02	2.14
1:15:00 a.m.	0.17	0.14	2.00	2.31
1:30:00 a.m.	0.10	0.00	2.26	2.36
1:45:00 a.m.	0.10	0.05	2.45	2.60
2:00:00 a.m.	0.10	0.03	2.07	2.21
2:15:00 a.m.	0.10	0.00	1.93	2.03
2:30:00 a.m.	0.10	0.00	2.29	2.40
2:45:00 a.m.	0.17	0.00	2.26	2.43
3:00:00 a.m.	0.14	0.21	2.02	2.36
3:15:00 a.m.	0.10	0.00	2.19	2.29
3:30:00 a.m.	0.10	0.00	2.29	2.40
3:45:00 a.m.	0.12	0.00	2.17	2.29
4:00:00 a.m.	0.10	0.24	1.98	2.33
4:15:00 a.m.	0.10	0.00	2.15	2.26
4:30:00 a.m.	0.19	0.00	2.21	2.40
4:45:00 a.m.	0.10	0.00	1.98	2.09
5:00:00 a.m.	0.10	0.00	2.00	2.10
5:15:00 a.m.	0.10	0.05	2.21	2.36
5:30:00 a.m.	0.10	0.00	1.96	2.07
5:45:00 a.m.	0.07	0.00	1.93	2.00
6:00:00 a.m.	0.00	0.00	2.34	2.34

HORA DE LA MUESTRA	L1 (kvar)	L2 (kvar)	L3 (kvar)	III (kvar)
6:15:00 a.m.	1.34	0.00	2.29	3.63
6:30:00 a.m.	1.55	0.00	2.10	3.65
6:45:00 a.m.	1.55	0.00	2.07	3.61
7:00:00 a.m.	1.42	0.34	2.34	4.11
7:15:00 a.m.	1.39	0.36	2.17	3.92
7:30:00 a.m.	1.58	0.58	1.65	3.82
7:45:00 a.m.	1.63	0.50	1.17	3.30
8:00:00 a.m.	1.77	0.27	1.71	3.75
8:15:00 a.m.	1.77	0.19	1.48	3.44
8:30:00 a.m.	1.74	0.45	1.57	3.75
8:45:00 a.m.	1.65	0.55	1.40	3.59
9:00:00 a.m.	1.62	0.46	1.45	3.53
9:15:00 a.m.	1.79	0.58	0.78	3.15
9:30:00 a.m.	1.70	0.77	1.22	3.70
9:45:00 a.m.	1.49	0.51	1.38	3.39
10:00:00 a.m.	1.53	0.46	1.03	3.03
10:15:00 a.m.	0.28	0.50	1.53	2.31
10:30:00 a.m.	0.26	0.46	1.29	2.02
10:45:00 a.m.	0.30	0.60	1.34	2.24
11:00:00 a.m.	0.19	0.62	1.48	2.29
11:15:00 a.m.	0.36	0.62	1.40	2.38
11:30:00 a.m.	0.28	0.34	1.64	2.26
11:45:00 a.m.	0.26	0.50	1.79	2.55
12:00:00 p.m.	0.30	0.76	2.07	3.12
12:15:00 p.m.	0.47	0.65	1.65	2.78
12:30:00 p.m.	0.42	0.58	1.77	2.77
12:45:00 p.m.	0.43	0.86	1.50	2.79
1:00:00 p.m.	0.35	0.88	1.90	3.12
1:15:00 p.m.	0.36	0.69	1.67	2.72
1:30:00 p.m.	0.28	0.62	1.52	2.41
1:45:00 p.m.	0.24	0.69	1.14	2.07
2:00:00 p.m.	0.14	0.79	1.55	2.48
2:15:00 p.m.	0.19	0.69	1.12	2.00
2:30:00 p.m.	0.24	0.60	1.40	2.24
2:45:00 p.m.	0.24	0.77	1.22	2.24
3:00:00 p.m.	0.21	0.82	1.19	2.22
3:15:00 p.m.	0.23	0.64	1.34	2.20
3:30:00 p.m.	0.05	0.72	1.36	2.13
3:45:00 p.m.	0.19	1.22	1.36	2.77
4:00:00 p.m.	0.73	1.03	1.77	3.53
4:15:00 p.m.	3.15	1.75	3.10	8.00
4:30:00 p.m.	3.63	1.82	3.05	8.50
4:45:00 p.m.	3.61	1.87	3.12	8.60
5:00:00 p.m.	3.49	1.54	2.53	7.57
5:15:00 p.m.	3.60	1.77	2.62	7.98
5:30:00 p.m.	3.74	1.61	2.52	7.86
5:45:00 p.m.	3.56	1.84	2.84	8.24
6:00:00 p.m.	3.67	1.91	2.89	8.47

Tabla B-12. Potencia reactiva inductiva, monofásica y trifásica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	L1 (kvar)	L2 (kvar)	L3 (kvar)	III (kvar)	HORA DE LA MUESTRA	L1 (kvar)	L2 (kvar)	L3 (kvar)	III (kvar)
6:15:00 p.m.	3.75	1.41	3.17	8.33	6:15:00 a.m.	0.47	0.00	1.79	2.26
6:30:00 p.m.	3.82	0.91	3.03	7.76	6:30:00 a.m.	0.42	0.00	2.17	2.59
6:45:00 p.m.	3.70	0.98	2.65	7.33	6:45:00 a.m.	0.10	0.07	0.84	1.02
7:00:00 p.m.	3.58	1.13	2.53	7.24	7:00:00 a.m.	0.00	0.00	0.65	0.65
7:15:00 p.m.	3.58	0.70	2.24	6.52	7:15:00 a.m.	0.00	0.00	0.74	0.74
7:30:00 p.m.	3.61	0.00	3.36	6.97	7:30:00 a.m.	0.00	0.00	0.50	0.50
7:45:00 p.m.	3.98	0.00	3.27	7.25	7:45:00 a.m.	0.05	0.00	0.53	0.59
8:00:00 p.m.	4.05	0.00	3.03	7.08	8:00:00 a.m.	0.21	0.00	1.10	1.31
8:15:00 p.m.	4.19	0.00	2.98	7.17	8:15:00 a.m.	0.05	0.00	1.12	1.17
8:30:00 p.m.	4.10	0.00	3.03	7.13	8:30:00 a.m.	0.00	0.00	1.03	1.03
8:45:00 p.m.	3.42	0.00	2.36	5.78	8:45:00 a.m.	0.12	0.14	0.69	0.95
9:00:00 p.m.	3.08	0.00	2.15	5.23	9:00:00 a.m.	0.10	0.15	0.67	0.93
9:15:00 p.m.	3.01	0.00	2.21	5.21	9:15:00 a.m.	0.16	0.00	1.02	1.17
9:30:00 p.m.	3.02	0.00	2.21	5.23	9:30:00 a.m.	0.19	0.00	0.96	1.16
9:45:00 p.m.	3.04	0.00	2.19	5.23	9:45:00 a.m.	0.14	0.31	1.12	1.57
10:00:00 p.m.	2.97	0.00	2.10	5.07	10:00:00 a.m.	0.09	0.12	1.22	1.43
10:15:00 p.m.	1.15	0.00	2.03	3.18	10:15:00 a.m.	0.05	0.17	0.93	1.15
10:30:00 p.m.	0.42	0.00	2.03	2.45	10:30:00 a.m.	0.00	0.00	0.60	0.60
10:45:00 p.m.	0.42	0.00	2.05	2.47	10:45:00 a.m.	0.03	0.02	1.00	1.05
11:00:00 p.m.	0.42	0.00	2.17	2.59	11:00:00 a.m.	0.00	0.00	1.19	1.19
11:15:00 p.m.	0.42	0.00	2.00	2.42	11:15:00 a.m.	0.10	0.00	0.76	0.86
11:30:00 p.m.	0.42	0.00	1.88	2.30	11:30:00 a.m.	0.10	0.21	1.28	1.58
11:45:00 p.m.	0.49	0.00	1.98	2.47	11:45:00 a.m.	0.12	0.03	1.41	1.57
12:00:00 a.m.	0.47	0.00	2.19	2.66	12:00:00 p.m.	0.14	0.03	1.28	1.45
12:15:00 a.m.	0.42	0.00	2.00	2.42	12:15:00 p.m.	0.12	0.05	1.40	1.57
12:30:00 a.m.	0.40	0.00	1.83	2.23	12:30:00 p.m.	0.07	0.00	1.33	1.40
12:45:00 a.m.	0.40	0.00	1.98	2.38	12:45:00 p.m.	0.05	0.00	1.41	1.47
1:00:00 a.m.	0.42	0.00	1.95	2.36	1:00:00 p.m.	0.21	0.00	1.46	1.67
1:15:00 a.m.	0.43	0.00	1.79	2.23	1:15:00 p.m.	0.10	0.10	1.05	1.26
1:30:00 a.m.	0.50	0.00	1.84	2.35	1:30:00 p.m.	0.12	0.02	1.02	1.15
1:45:00 a.m.	0.42	0.00	2.10	2.52	1:45:00 p.m.	0.17	0.00	1.29	1.47
2:00:00 a.m.	0.42	0.00	1.95	2.36	2:00:00 p.m.	0.26	0.00	0.96	1.22
2:15:00 a.m.	0.42	0.00	1.81	2.23	2:15:00 p.m.	0.21	0.00	0.88	1.09
2:30:00 a.m.	0.42	0.00	1.93	2.35	2:30:00 p.m.	0.21	0.05	1.00	1.26
2:45:00 a.m.	0.42	0.00	1.96	2.38	2:45:00 p.m.	0.38	0.00	0.98	1.36
3:00:00 a.m.	0.49	0.00	1.76	2.24	3:00:00 p.m.	0.28	0.00	0.76	1.04
3:15:00 a.m.	0.45	0.00	1.95	2.40	3:15:00 p.m.	0.31	0.00	0.59	0.90
3:30:00 a.m.	0.42	0.00	2.12	2.54	3:30:00 p.m.	0.33	0.10	0.95	1.38
3:45:00 a.m.	0.43	0.00	1.95	2.38					
4:00:00 a.m.	0.43	0.00	1.83	2.26					
4:15:00 a.m.	0.42	0.00	1.88	2.30					
4:30:00 a.m.	0.43	0.00	1.90	2.33					
4:45:00 a.m.	0.50	0.00	1.90	2.40					
5:00:00 a.m.	0.42	0.00	1.93	2.35					
5:15:00 a.m.	0.42	0.00	1.91	2.33					
5:30:00 a.m.	0.42	0.00	1.90	2.31					
5:45:00 a.m.	0.42	0.00	1.84	2.26					
6:00:00 a.m.	0.42	0.00	1.77	2.19					

Tabla B-13. Factor de potencia monofásica y trifásica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	cos $\phi$ L1	cos $\phi$ L2	cos $\phi$ L3	cos $\phi$ III
6:23:20 p.m.	0.96	0.98	0.98	0.98
6:30:00 p.m.	0.96	0.98	0.97	0.97
6:45:00 p.m.	0.96	0.98	0.96	0.97
7:00:00 p.m.	0.96	0.98	0.96	0.97
7:15:00 p.m.	0.96	0.98	0.91	0.95
7:30:00 p.m.	0.95	0.98	0.89	0.94
7:45:00 p.m.	0.95	-0.98	0.84	0.93
8:00:00 p.m.	0.94	-0.98	0.78	0.91
8:15:00 p.m.	0.94	-0.98	0.78	0.9
8:30:00 p.m.	0.92	-0.98	0.74	0.88
8:45:00 p.m.	0.89	-0.99	0.73	0.86
9:00:00 p.m.	0.88	-0.98	0.76	0.87
9:15:00 p.m.	0.92	-0.94	0.75	0.85
9:30:00 p.m.	0.93	-0.92	0.75	0.83
9:45:00 p.m.	0.85	0.96	0.71	0.81
10:00:00 p.m.	0.88	-0.95	0.72	0.8
10:15:00 p.m.	0.85	-0.95	0.74	0.81
10:30:00 p.m.	0.81	0.94	0.7	0.78
10:45:00 p.m.	0.82	-0.92	0.71	0.78
11:00:00 p.m.	0.78	-0.92	0.71	0.76
11:15:00 p.m.	0.81	0.92	0.72	0.78
11:30:00 p.m.	0.81	0.94	0.72	0.79
11:45:00 p.m.	0.8	-0.89	0.68	0.74
12:00:00 a.m.	0.82	0.93	0.7	0.77
12:15:00 a.m.	0.8	0.93	0.72	0.78
12:30:00 a.m.	0.81	-0.92	0.73	0.78
12:45:00 a.m.	0.82	0.96	0.72	0.8
1:00:00 a.m.	0.8	-0.94	0.71	0.78
1:15:00 a.m.	0.84	0.93	0.73	0.8
1:30:00 a.m.	0.8	-0.89	0.71	0.76
1:45:00 a.m.	0.8	0.94	0.72	0.78
2:00:00 a.m.	0.84	0.93	0.71	0.78
2:15:00 a.m.	0.8	-0.92	0.72	0.78
2:30:00 a.m.	0.8	-0.92	0.72	0.78
2:45:00 a.m.	0.84	-0.9	0.7	0.76
3:00:00 a.m.	0.81	0.94	0.74	0.8
3:15:00 a.m.	0.83	-0.92	0.7	0.77
3:30:00 a.m.	0.8	-0.9	0.71	0.76
3:45:00 a.m.	0.8	-0.88	0.73	0.77
4:00:00 a.m.	0.83	0.94	0.7	0.79
4:15:00 a.m.	0.79	-0.91	0.74	0.78
4:30:00 a.m.	0.84	-0.91	0.71	0.77
4:45:00 a.m.	0.81	-0.93	0.72	0.78
5:00:00 a.m.	0.8	0.93	0.75	0.79
5:15:00 a.m.	0.84	0.93	0.71	0.78
5:30:00 a.m.	0.86	-0.94	0.75	0.81
5:45:00 a.m.	0.88	-0.97	0.75	0.84
6:00:00 a.m.	0.96	-0.98	0.73	0.86

HORA DE LA MUESTRA	cos $\phi$ L1	cos $\phi$ L2	cos $\phi$ L3	cos $\phi$ III
6:15:00 a.m.	0.87	0.98	0.83	0.88
6:30:00 a.m.	0.81	0.98	0.88	0.9
6:45:00 a.m.	0.87	-0.98	0.86	0.9
7:00:00 a.m.	0.88	0.98	0.88	0.92
7:15:00 a.m.	0.88	0.97	0.92	0.94
7:30:00 a.m.	0.91	0.98	0.96	0.95
7:45:00 a.m.	0.95	0.98	0.98	0.97
8:00:00 a.m.	0.95	0.98	0.97	0.97
8:15:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
8:30:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
8:45:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
9:00:00 a.m.	0.98	0.97	0.97	0.97
9:15:00 a.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
9:30:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
9:45:00 a.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
10:00:00 a.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
10:15:00 a.m.	0.98	0.98	0.97	0.97
10:30:00 a.m.	0.98	0.97	0.98	0.97
10:45:00 a.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
11:00:00 a.m.	0.97	0.97	0.98	0.98
11:15:00 a.m.	0.98	0.98	0.97	0.97
11:30:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
11:45:00 a.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
12:00:00 p.m.	0.97	0.98	0.97	0.97
12:15:00 p.m.	0.98	0.98	0.97	0.97
12:30:00 p.m.	0.98	0.97	0.97	0.97
12:45:00 p.m.	0.98	0.97	0.97	0.97
1:00:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
1:15:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
1:30:00 p.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
1:45:00 p.m.	0.97	0.97	0.98	0.97
2:00:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
2:15:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
2:30:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
2:45:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
3:00:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
3:15:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
3:30:00 p.m.	0.97	0.97	0.96	0.97
3:45:00 p.m.	0.97	0.97	0.97	0.97
4:00:00 p.m.	0.97	0.97	0.96	0.97
4:15:00 p.m.	0.94	0.97	0.96	0.96
4:30:00 p.m.	0.94	0.97	0.96	0.96
4:45:00 p.m.	0.94	0.97	0.96	0.96
5:00:00 p.m.	0.93	0.97	0.97	0.96
5:15:00 p.m.	0.94	0.97	0.97	0.96
5:30:00 p.m.	0.95	0.97	0.97	0.96
5:45:00 p.m.	0.95	0.97	0.96	0.96
6:00:00 p.m.	0.93	0.97	0.96	0.96



Tabla B-15. Energía activa, reactiva y aparente del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	kWh	kvarh	kvah	HORA DE LA MUESTRA	kWh	kvarh	kvah
6:23:20 p.m.	3.80	0.38	3.82	6:15:00 a.m.	104.60	38.52	111.47
6:30:00 p.m.	11.06	1.28	11.14	6:30:00 a.m.	107.21	39.45	114.24
6:45:00 p.m.	17.81	2.28	17.95	6:45:00 a.m.	109.88	40.38	117.07
7:00:00 p.m.	24.60	3.33	24.82	7:00:00 a.m.	113.58	41.41	120.89
7:15:00 p.m.	31.86	4.98	32.25	7:15:00 a.m.	117.58	42.40	124.99
7:30:00 p.m.	38.58	6.78	39.18	7:30:00 a.m.	122.49	43.37	129.94
7:45:00 p.m.	44.42	8.28	45.18	7:45:00 a.m.	128.75	44.20	136.12
8:00:00 p.m.	49.21	9.83	50.19	8:00:00 a.m.	135.52	45.14	142.84
8:15:00 p.m.	53.64	11.35	54.83	8:15:00 a.m.	142.59	46.01	149.83
8:30:00 p.m.	57.71	12.99	59.15	8:30:00 a.m.	149.74	46.96	156.93
8:45:00 p.m.	61.32	14.67	63.05	8:45:00 a.m.	157.45	47.86	164.56
9:00:00 p.m.	64.63	16.17	66.62	9:00:00 a.m.	165.78	48.76	172.80
9:15:00 p.m.	66.30	16.87	68.42	9:15:00 a.m.	174.13	49.55	181.05
9:30:00 p.m.	67.56	17.44	69.78	9:30:00 a.m.	182.55	50.48	189.40
9:45:00 p.m.	68.84	18.10	71.18	9:45:00 a.m.	191.28	51.34	198.05
10:00:00 p.m.	70.05	18.76	72.52	10:00:00 a.m.	200.09	52.10	206.77
10:15:00 p.m.	71.23	19.35	73.81	10:15:00 a.m.	209.24	52.69	215.77
10:30:00 p.m.	72.27	19.97	74.98	10:30:00 a.m.	218.04	53.20	224.44
10:45:00 p.m.	73.32	20.56	76.15	10:45:00 a.m.	226.74	53.77	233.02
11:00:00 p.m.	74.28	21.17	77.24	11:00:00 a.m.	236.20	54.35	242.37
11:15:00 p.m.	75.29	21.75	78.37	11:15:00 a.m.	245.37	54.95	251.45
11:30:00 p.m.	76.29	22.36	79.50	11:30:00 a.m.	254.62	55.52	260.60
11:45:00 p.m.	77.27	23.06	80.63	11:45:00 a.m.	264.19	56.17	270.09
12:00:00 a.m.	78.33	23.75	81.85	12:00:00 p.m.	274.23	56.96	280.09
12:15:00 a.m.	79.29	24.33	82.94	12:15:00 p.m.	283.95	57.66	289.75
12:30:00 a.m.	80.23	24.88	84.00	12:30:00 p.m.	293.65	58.36	299.39
12:45:00 a.m.	81.29	25.47	85.19	12:45:00 p.m.	303.24	59.07	308.93
1:00:00 a.m.	82.23	26.01	86.25	1:00:00 p.m.	312.30	59.85	317.98
1:15:00 a.m.	83.24	26.60	87.38	1:15:00 p.m.	321.61	60.53	327.26
1:30:00 a.m.	84.17	27.20	88.46	1:30:00 p.m.	330.99	61.14	336.59
1:45:00 a.m.	85.22	27.85	89.66	1:45:00 p.m.	340.06	61.66	345.61
2:00:00 a.m.	86.17	28.41	90.74	2:00:00 p.m.	349.41	62.29	354.92
2:15:00 a.m.	87.06	28.94	91.74	2:15:00 p.m.	358.61	62.80	364.06
2:30:00 a.m.	88.05	29.54	92.88	2:30:00 p.m.	367.36	63.37	372.79
2:45:00 a.m.	89.02	30.16	93.99	2:45:00 p.m.	376.12	63.93	381.52
3:00:00 a.m.	90.02	30.76	95.13	3:00:00 p.m.	384.72	64.50	390.09
3:15:00 a.m.	90.96	31.34	96.21	3:15:00 p.m.	393.21	65.05	398.55
3:30:00 a.m.	91.92	31.95	97.31	3:30:00 p.m.	401.10	65.60	406.43
3:45:00 a.m.	92.85	32.52	98.38	3:45:00 p.m.	409.08	66.31	414.42
4:00:00 a.m.	93.83	33.11	99.50	4:00:00 p.m.	417.23	67.20	422.61
4:15:00 a.m.	94.79	33.69	100.60	4:15:00 p.m.	426.80	69.21	432.38
4:30:00 a.m.	95.76	34.29	101.71	4:30:00 p.m.	436.51	71.34	442.30
4:45:00 a.m.	96.68	34.83	102.76	4:45:00 p.m.	446.03	73.50	452.05
5:00:00 a.m.	97.62	35.37	103.83	5:00:00 p.m.	455.23	75.40	461.44
5:15:00 a.m.	98.60	35.97	104.95	5:15:00 p.m.	464.58	77.40	470.99
5:30:00 a.m.	99.60	36.50	106.08	5:30:00 p.m.	473.70	79.38	480.30
5:45:00 a.m.	100.75	37.00	107.33	5:45:00 p.m.	482.77	81.45	489.60
6:00:00 a.m.	102.41	37.60	109.09	6:00:00 p.m.	491.59	83.58	498.65

Tabla B-16. Energía activa, reactiva y aparente del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	kWh	kvarh	kvah	HORA DE LA MUESTRA	kWh	kvarh	kvah
6:15:00 p.m.	500.01	85.66	507.30	6:15:00 a.m.	648.46	129.68	661.30
6:30:00 p.m.	508.92	87.61	516.40	6:30:00 a.m.	650.06	130.34	663.00
6:45:00 p.m.	518.75	89.45	526.40	6:45:00 a.m.	651.05	130.61	664.02
7:00:00 p.m.	527.75	91.27	535.58	7:00:00 a.m.	652.07	130.79	665.06
7:15:00 p.m.	535.89	92.92	543.88	7:15:00 a.m.	653.89	130.99	666.88
7:30:00 p.m.	545.07	94.67	553.23	7:30:00 a.m.	657.29	131.14	670.24
7:45:00 p.m.	553.15	96.48	561.51	7:45:00 a.m.	661.38	131.33	674.29
8:00:00 p.m.	560.66	98.26	569.21	8:00:00 a.m.	666.91	131.69	679.79
8:15:00 p.m.	567.51	100.05	576.26	8:15:00 a.m.	673.70	132.02	686.52
8:30:00 p.m.	574.20	101.84	583.16	8:30:00 a.m.	680.62	132.32	693.36
8:45:00 p.m.	578.89	103.30	588.03	8:45:00 a.m.	687.01	132.58	699.69
9:00:00 p.m.	582.66	104.61	591.97	9:00:00 a.m.	693.14	132.84	705.75
9:15:00 p.m.	585.83	105.91	595.32	9:15:00 a.m.	699.43	133.17	712.00
9:30:00 p.m.	588.89	107.22	598.57	9:30:00 a.m.	705.61	133.50	718.13
9:45:00 p.m.	591.95	108.53	601.81	9:45:00 a.m.	712.34	133.91	724.82
10:00:00 p.m.	594.89	109.81	604.94	10:00:00 a.m.	718.92	134.30	731.36
10:15:00 p.m.	597.09	110.61	607.25	10:15:00 a.m.	725.34	134.63	737.73
10:30:00 p.m.	598.71	111.23	608.96	10:30:00 a.m.	732.07	134.83	744.38
10:45:00 p.m.	600.33	111.85	610.66	10:45:00 a.m.	738.76	135.15	751.02
11:00:00 p.m.	601.99	112.50	612.41	11:00:00 a.m.	745.58	135.49	757.79
11:15:00 p.m.	603.57	113.11	614.07	11:15:00 a.m.	752.41	135.75	764.56
11:30:00 p.m.	605.20	113.69	615.79	11:30:00 a.m.	758.82	136.18	770.94
11:45:00 p.m.	606.80	114.31	617.47	11:45:00 a.m.	764.26	136.61	776.37
12:00:00 a.m.	608.46	114.98	619.23	12:00:00 p.m.	769.51	137.00	781.61
12:15:00 a.m.	610.11	115.59	620.96	12:15:00 p.m.	774.21	137.41	786.31
12:30:00 a.m.	611.66	116.15	622.59	12:30:00 p.m.	778.49	137.78	790.59
12:45:00 a.m.	613.33	116.75	624.34	12:45:00 p.m.	782.38	138.17	794.49
1:00:00 a.m.	614.91	117.35	626.01	1:00:00 p.m.	786.62	138.61	798.74
1:15:00 a.m.	616.45	117.91	627.63	1:15:00 p.m.	791.48	138.94	803.58
1:30:00 a.m.	618.08	118.49	629.34	1:30:00 p.m.	796.53	139.27	808.61
1:45:00 a.m.	619.71	119.13	631.06	1:45:00 p.m.	801.76	139.65	813.83
2:00:00 a.m.	621.35	119.72	632.78	2:00:00 p.m.	807.75	139.98	819.79
2:15:00 a.m.	622.91	120.28	634.41	2:15:00 p.m.	813.87	140.28	825.87
2:30:00 a.m.	624.52	120.87	636.11	2:30:00 p.m.	820.12	140.61	832.08
2:45:00 a.m.	626.14	121.47	637.81	2:45:00 p.m.	825.65	140.97	837.60
3:00:00 a.m.	627.70	122.04	639.45	3:00:00 p.m.	830.75	141.24	842.67
3:15:00 a.m.	629.35	122.64	641.18	3:15:00 p.m.	835.91	141.49	847.80
3:30:00 a.m.	630.99	123.28	642.92	3:30:00 p.m.	841.16	141.85	853.03
3:45:00 a.m.	632.59	123.88	644.61				
4:00:00 a.m.	634.12	124.45	646.22				
4:15:00 a.m.	635.80	125.03	647.97				
4:30:00 a.m.	637.36	125.61	649.62				
4:45:00 a.m.	638.89	126.22	651.24				
5:00:00 a.m.	640.50	126.81	652.93				
5:15:00 a.m.	642.14	127.40	654.65				
5:30:00 a.m.	643.82	127.98	656.41				
5:45:00 a.m.	645.40	128.55	658.07				
6:00:00 a.m.	646.92	129.10	659.68				

Tabla B-17. Factor de distorsión Armónica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	%V L1 (THD)	%V L2 (THD)	%V L3 (THD)	%I L1 (THD)	%I L2 (THD)	%I L3 (THD)	HORA DE LA MUESTRA	%V L1 (THD)	%V L2 (THD)	%V L3 (THD)	%I L1 (THD)	%I L2 (THD)	%I L3 (THD)
6:23:20 p.m.	4	4	3	20	17	15	6:15:00 a.m.	3	3	2	30	23	12
6:30:00 p.m.	4	4	3	20	17	14	6:30:00 a.m.	3	3	2	14	14	14
6:45:00 p.m.	4	4	3	20	17	15	6:45:00 a.m.	3	3	2	15	19	18
7:00:00 p.m.	4	4	3	18	17	14	7:00:00 a.m.	3	4	2	14	17	19
7:15:00 p.m.	4	4	3	13	19	18	7:15:00 a.m.	3	3	3	26	19	16
7:30:00 p.m.	3	4	3	14	13	13	7:30:00 a.m.	3	4	3	29	20	16
7:45:00 p.m.	4	3	3	11	18	12	7:45:00 a.m.	4	4	3	20	21	13
8:00:00 p.m.	3	3	3	14	15	13	8:00:00 a.m.	4	4	3	20	20	14
8:15:00 p.m.	3	3	3	15	20	10	8:15:00 a.m.	4	4	3	18	16	11
8:30:00 p.m.	3	3	3	13	17	9	8:30:00 a.m.	4	4	3	18	20	19
8:45:00 p.m.	3	3	3	12	14	11	8:45:00 a.m.	4	4	2	18	19	15
9:00:00 p.m.	4	3	3	11	11	11	9:00:00 a.m.	4	4	3	17	19	18
9:15:00 p.m.	3	3	3	16	16	17	9:15:00 a.m.	4	4	3	18	21	16
9:30:00 p.m.	3	3	3	38	41	17	9:30:00 a.m.	4	4	3	16	20	19
9:45:00 p.m.	3	3	3	52	27	13	9:45:00 a.m.	4	4	3	16	19	17
10:00:00 p.m.	3	3	3	54	34	11	10:00:00 a.m.	4	4	3	17	19	16
10:15:00 p.m.	4	4	3	51	37	20	10:15:00 a.m.	4	4	3	23	20	17
10:30:00 p.m.	3	4	3	54	36	22	10:30:00 a.m.	5	4	3	20	21	17
10:45:00 p.m.	3	4	3	38	36	12	10:45:00 a.m.	4	4	3	14	21	16
11:00:00 p.m.	3	4	3	65	41	14	11:00:00 a.m.	4	4	3	21	17	15
11:15:00 p.m.	3	4	3	64	32	24	11:15:00 a.m.	4	4	3	14	18	18
11:30:00 p.m.	3	3	3	61	36	18	11:30:00 a.m.	4	4	3	21	20	20
11:45:00 p.m.	3	3	2	50	45	12	11:45:00 a.m.	4	5	3	18	17	17
12:00:00 a.m.	3	3	2	59	49	12	12:00:00 p.m.	4	5	3	19	16	18
12:15:00 a.m.	2	3	2	59	40	23	12:15:00 p.m.	4	4	3	21	20	19
12:30:00 a.m.	2	3	2	60	29	18	12:30:00 p.m.	4	5	3	15	17	18
12:45:00 a.m.	3	3	2	33	42	15	12:45:00 p.m.	4	5	3	20	20	19
1:00:00 a.m.	2	3	2	57	27	14	1:00:00 p.m.	4	4	3	19	19	20
1:15:00 a.m.	2	3	2	48	44	19	1:15:00 p.m.	4	4	3	20	19	16
1:30:00 a.m.	2	3	2	58	46	18	1:30:00 p.m.	4	5	3	22	18	18
1:45:00 a.m.	2	3	2	62	42	14	1:45:00 p.m.	4	5	3	23	21	18
2:00:00 a.m.	2	3	2	61	42	15	2:00:00 p.m.	4	4	3	22	21	19
2:15:00 a.m.	2	3	2	57	37	16	2:15:00 p.m.	5	5	3	20	20	20
2:30:00 a.m.	2	3	2	58	39	16	2:30:00 p.m.	5	5	4	24	20	18
2:45:00 a.m.	2	3	2	32	32	15	2:45:00 p.m.	5	5	3	24	21	18
3:00:00 a.m.	2	3	2	51	33	22	3:00:00 p.m.	4	4	3	21	18	20
3:15:00 a.m.	2	3	2	58	35	14	3:15:00 p.m.	5	4	3	19	19	22
3:30:00 a.m.	2	3	2	59	31	16	3:30:00 p.m.	5	5	3	22	21	22
3:45:00 a.m.	2	3	2	59	44	24	3:45:00 p.m.	5	5	3	20	21	23
4:00:00 a.m.	2	3	2	60	41	18	4:00:00 p.m.	4	4	3	23	19	18
4:15:00 a.m.	2	3	2	59	39	19	4:15:00 p.m.	5	5	3	18	16	16
4:30:00 a.m.	2	3	2	58	41	17	4:30:00 p.m.	4	4	3	12	18	14
4:45:00 a.m.	2	3	2	58	47	22	4:45:00 p.m.	4	4	3	12	17	16
5:00:00 a.m.	2	3	2	61	37	15	5:00:00 p.m.	4	4	3	16	17	17
5:15:00 a.m.	2	3	2	60	41	13	5:15:00 p.m.	5	4	3	13	17	14
5:30:00 a.m.	2	3	2	60	40	23	5:30:00 p.m.	4	4	3	13	17	13
5:45:00 a.m.	3	3	2	54	41	19	5:45:00 p.m.	4	4	3	12	17	13
6:00:00 a.m.	3	3	2	45	20	17	6:00:00 p.m.	4	4	3	11	16	13

Tabla B-18. Factor de distorsión Armónica del edificio T9

HORA DE LA MUESTRA	%V L1 (THD)	%V L2 (THD)	%V L3 (THD)	%d L1 (THD)	%d L2 (THD)	%d L3 (THD)	HORA DE LA MUESTRA	%V L1 (THD)	%V L2 (THD)	%V L3 (THD)	%d L1 (THD)	%d L2 (THD)	%d L3 (THD)
6:15:00 p.m.	4	4	3	17	16	13	6:15:00 a.m.	3	2	2	34	16	16
6:30:00 p.m.	4	4	3	10	15	12	6:30:00 a.m.	3	2	2	33	15	14
6:45:00 p.m.	4	5	3	14	15	13	6:45:00 a.m.	3	3	2	60	26	21
7:00:00 p.m.	4	5	3	14	14	16	7:00:00 a.m.	3	3	2	35	30	26
7:15:00 p.m.	4	4	3	12	15	14	7:15:00 a.m.	3	3	2	35	31	47
7:30:00 p.m.	4	4	3	14	16	12	7:30:00 a.m.	4	3	2	22	21	16
7:45:00 p.m.	4	4	3	11	10	14	7:45:00 a.m.	4	3	3	23	20	18
8:00:00 p.m.	4	3	3	11	11	13	8:00:00 a.m.	4	3	2	12	16	13
8:15:00 p.m.	4	3	3	11	11	14	8:15:00 a.m.	4	4	3	10	18	10
8:30:00 p.m.	4	3	3	12	13	15	8:30:00 a.m.	4	4	3	9	17	12
8:45:00 p.m.	4	3	3	7	13	13	8:45:00 a.m.	4	4	3	14	18	16
9:00:00 p.m.	3	3	2	11	10	12	9:00:00 a.m.	4	4	3	11	18	15
9:15:00 p.m.	4	3	3	13	13	16	9:15:00 a.m.	5	4	3	17	18	16
9:30:00 p.m.	4	3	3	11	11	14	9:30:00 a.m.	4	4	4	17	18	17
9:45:00 p.m.	3	3	3	13	14	20	9:45:00 a.m.	4	4	3	14	12	13
10:00:00 p.m.	4	4	3	13	13	12	10:00:00 a.m.	5	4	3	15	11	14
10:15:00 p.m.	4	4	3	14	17	13	10:15:00 a.m.	4	4	3	13	14	16
10:30:00 p.m.	4	4	3	37	17	22	10:30:00 a.m.	4	4	3	17	17	16
10:45:00 p.m.	4	4	3	38	17	17	10:45:00 a.m.	4	4	3	17	18	17
11:00:00 p.m.	4	4	3	39	14	13	11:00:00 a.m.	4	4	3	14	13	15
11:15:00 p.m.	3	3	3	38	16	15	11:15:00 a.m.	4	4	3	15	19	15
11:30:00 p.m.	3	3	2	38	16	22	11:30:00 a.m.	4	4	3	15	18	16
11:45:00 p.m.	3	3	2	39	17	16	11:45:00 a.m.	4	4	3	20	23	17
12:00:00 a.m.	3	4	2	38	18	16	12:00:00 p.m.	4	4	3	14	21	18
12:15:00 a.m.	3	3	2	30	17	15	12:15:00 p.m.	4	4	3	16	20	15
12:30:00 a.m.	3	3	2	38	17	17	12:30:00 p.m.	4	4	3	21	22	16
12:45:00 a.m.	3	3	2	39	16	17	12:45:00 p.m.	4	4	3	17	25	15
1:00:00 a.m.	3	3	3	40	17	15	1:00:00 p.m.	4	4	3	17	21	16
1:15:00 a.m.	3	3	3	38	17	22	1:15:00 p.m.	4	4	3	20	23	17
1:30:00 a.m.	3	3	2	38	18	16	1:30:00 p.m.	4	4	3	17	18	16
1:45:00 a.m.	3	3	2	38	17	14	1:45:00 p.m.	4	4	3	17	21	16
2:00:00 a.m.	3	3	2	38	16	15	2:00:00 p.m.	4	4	3	18	21	13
2:15:00 a.m.	3	3	2	38	17	17	2:15:00 p.m.	4	4	3	16	20	16
2:30:00 a.m.	3	3	2	38	17	22	2:30:00 p.m.	4	4	3	13	21	15
2:45:00 a.m.	2	3	2	37	16	14	2:45:00 p.m.	4	4	3	8	18	13
3:00:00 a.m.	3	3	2	39	14	19	3:00:00 p.m.	4	4	3	17	24	18
3:15:00 a.m.	3	3	2	36	17	18	3:15:00 p.m.	4	4	3	13	23	16
3:30:00 a.m.	3	3	2	38	17	20	3:30:00 p.m.	4	4	3	14	18	13
3:45:00 a.m.	3	3	2	38	15	15							
4:00:00 a.m.	2	3	2	37	17	18							
4:15:00 a.m.	3	3	2	35	17	22							
4:30:00 a.m.	3	3	2	35	15	14							
4:45:00 a.m.	3	3	2	33	17	13							
5:00:00 a.m.	3	3	2	36	16	20							
5:15:00 a.m.	3	3	2	35	17	20							
5:30:00 a.m.	3	3	2	36	16	12							
5:45:00 a.m.	3	3	2	35	14	15							
6:00:00 a.m.	2	2	2	45	17	18							