



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

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA  
PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Carlos Enrique Cay Paredes**

Asesorado por el Ing. Jonathan Natanael Requena Gómez

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA  
PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ENRIQUE CAY PAREDES**

ASESORADO POR EL ING. JONATHAN NATANAEL REQUENA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Saul Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento 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 DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA  
PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de abril de 2017.

  
**Carlos Enrique Cay Paredes**



Guatemala, 08 de mayo de 2019.  
Ref.EPS.DOC.395.05.19.

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Enrique Cay Paredes** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **200611420** y CUI **2242 01921 0304**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

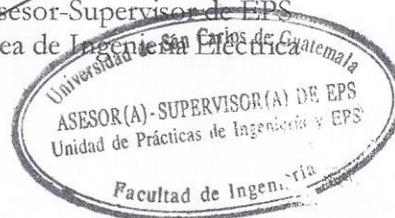
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
NJRG/ra



Guatemala 08 de mayo de 2019.  
Ref.EPS.D.174.05.19.

Ing. Otto Fernando Andrino González  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Carlos Enrique Cay Paredes**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Natanuel Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 30. 2019.

20 de mayo 2019.

Señor Director

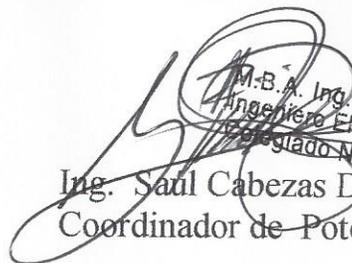
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** del estudiante; Carlos Enrique Cay Paredes, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán  
Ingeniero Electricista  
Especializado No. 4648  
Ing. Saul Cabezas Durán  
Coordinador de Potencia



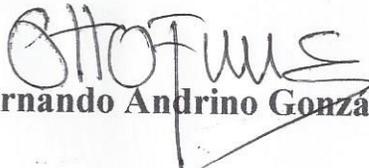
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 30. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de el estudiante: **CARLOS ENRÍQUE CAY PAREDES** titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Andriño González



GUATEMALA, 23 DE MAYO 2019.



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS DE BIENESTAR ESTUDIANTIL Y S6 DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Enrique Cay Paredes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Padre amoroso que me llena de bendición todos los días y me da fuerzas para seguir adelante.
- Mi padre** Florencio Cay Chiquitó, por ser un gran ejemplo de trabajo y dedicación.
- Mi madre** Marcelina Paredes Farfán, gracias por tu apoyo incondicional, tu gran amor y tus palabras de ánimo.
- Mi hermano** Edgar Antonio Cay Paredes, por estar a mi lado desde el principio y ser un gran ejemplo.
- Mis hermanas** Floridalma, Angelina y Delmi Cay Paredes, por esta a mi lado y motivarme a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi alma mater.
<b>División de Servicios Generales</b>	Por permitir la realización de este proyecto y la asesoría presentada al mismo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por formarme y brindarme las herramientas que necesito para salir adelante en la vida.
<b>Mis amigos</b>	Alex Galicia, Jorge Gallina, Marlon Palacios, Carlos López, David Pacheco, Pablo Alfaro, Merary Marroquín, Alvino Jichá, por todo el apoyo que me brindaron.
<b>Mi asesor</b>	Por brindarme su tiempo y su apoyo



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.....	1
1.1. Jerarquía de mando .....	1
1.1.1. Sostenimiento.....	1
1.1.2. Reseña histórica .....	2
1.1.3. Misión .....	2
1.1.4. Visión.....	2
1.1.5. Servicios que presta .....	3
2. FENÓMENOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE ENERGÍA Y TRANSITORIOS .....	5
2.1. Armónicos.....	5
2.1.1.1. Repercusiones.....	5
2.1.2. Armónicos según las normas.....	5
2.1.2.1. Norma de transmisión y de servicio de distribución de la CNEE .....	6
2.1.2.2. Estándar IEC 61000-3-2.....	8
2.1.2.3. Estándar IEEE 519 .....	8
2.2. <i>Flicker</i> .....	9

2.2.1.	<i>Flicker</i> según las normas.....	9
2.2.1.1.	NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución) .....	9
2.2.1.2.	Norma IEC 61000-3-3 .....	11
2.2.1.3.	Norma IEC 61000-3-5 .....	12
2.3.	Desbalance .....	13
2.3.1.	Desbalance según Norma NTSD .....	14
2.4.	Sags .....	15
2.5.	<i>Swells</i> .....	15
2.6.	Interrupciones .....	16
2.7.	Factor de potencia.....	17
2.8.	Magnitudes eléctricas para la obtención de una calidad de energía .....	18
2.8.1.	Nivel de voltaje o de tensión.....	18
2.9.	Cálculo de valores según Norma NTSD.....	19
3.	DATOS ACTUALES Y EN FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES .....	23
3.1.	Edificio S6 .....	23
3.1.1.	Alimentadores del edificio S6 .....	23
3.1.1.1.	Conductores del edificio S6.....	23
3.1.1.2.	Tipos de tableros del edificio S6.....	24
3.1.1.3.	Tipos de cargas del edificio S6.....	26
3.1.2.	Circuitos ramales del edificio S6 .....	26
3.1.2.1.	Conductores del edificio S6.....	26
3.1.2.2.	Tipos de tableros del edificio S6.....	28
3.1.2.3.	Tipos de cargas del edificio S6.....	29
3.1.2.4.	Diagrama unifilar del edificio S6 .....	30
3.2.	Iluminación del edificio S6.....	31

3.2.1.	Características de las luminarias del edificio S6.....	31
3.2.2.	Medición del nivel de iluminación del edificio S6 ....	31
3.3.	Bienestar Estudiantil.....	33
3.3.1.	Alimentadores del edificio de Bienestar Estudiantil.....	33
3.3.1.1.	Conductores del edificio de Bienestar Estudiantil.....	33
3.3.1.2.	Tipos de tableros del edificio de Bienestar Estudiantil.....	34
3.3.1.3.	Tipos de cargas del edificio de Bienestar Estudiantil.....	36
3.3.2.	Circuitos ramales del edificio de Bienestar Estudiantil.....	37
3.3.2.1.	Conductores del edificio de Bienestar Estudiantil.....	37
3.3.2.2.	Tipos de tableros del edificio de Bienestar estudiantil.....	38
3.3.2.3.	Tipos de cargas del edificio de Bienestar Estudiantil.....	40
3.3.2.4.	Diagrama unifilar del edificio de Bienestar Estudiantil.....	41
4.	MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA.....	43
4.1.	Analizador de redes.....	43
4.1.1.	Características metrológicas.....	43
4.1.1.1.	Incerteza.....	43
4.1.1.2.	Método de medición.....	44
4.1.1.3.	Monitoreo de eventos.....	44
4.1.1.4.	Software para extracción de datos.....	45

4.2.	Medición de la eficiencia energética .....	46
4.2.1.	Equipo de medición clase A .....	47
4.2.1.1.	Incerteza.....	47
4.2.2.	Parámetros de medición del edificio S6 .....	47
4.2.2.1.	Curva de carga diaria del edificio S6 ....	47
4.2.2.2.	Curva de carga semanal del edificio S6.....	49
4.2.2.3.	Voltajes del edificio S6 .....	50
4.2.2.4.	Corrientes del edificio S6.....	52
4.2.2.5.	Potencias del edificio S6 .....	54
4.2.2.5.1.	Potencia reactiva del edificio S6.....	55
4.2.2.6.	Potencia aparente del edificio S6 .....	56
4.2.2.7.	Desbalance del edificio S6 .....	57
4.2.2.8.	Factor de potencia del edificio S6 .....	58
4.2.2.9.	Distorsión armónica del edificio S6 .....	59
4.2.2.9.1.	Análisis del THD para el voltaje del edificio S6.....	60
4.2.2.9.2.	Análisis del THD para la corriente del edificio S6.....	61
4.2.2.10.	Frecuencia del edificio S6 .....	62
4.2.2.11.	Análisis <i>flicker</i> del edificio S6 .....	63
4.2.2.11.1.	<i>Flicker</i> según el índice Pst del edificio S6.....	63
4.2.2.11.2.	<i>Flicker</i> según el índice Plt del edificio S6.....	64

4.2.3.	Parámetros de medición del edificio de Bienestar Estudiantil .....	65
4.2.3.1.	Curva de carga diaria del edificio de Bienestar Estudiantil .....	65
4.2.3.2.	Cuerva de carga semanal del edificio de Bienestar Estudiantil .....	67
4.2.3.3.	Voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil .....	68
4.2.3.4.	Corrientes del edificio de Bienestar Estudiantil .....	70
4.2.3.5.	Potencia del edificio de Bienestar Estudiantil .....	72
4.2.3.5.1.	Potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil.....	72
4.2.3.5.2.	Potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil.....	74
4.2.3.5.3.	Potencia aparente del edificio de Bienestar Estudiantil.....	75
4.2.3.6.	Desbalance del edificio de Bienestar Estudiantil .....	76
4.2.3.7.	Factor de potencia del edificio de Bienestar Estudiantil .....	77
4.2.3.8.	Distorsión armónica del edificio de Bienestar Estudiantil .....	78
4.2.3.8.1.	Análisis del THD para el voltaje del edificio	

	de Bienestar Estudiantil.....	78
4.2.3.8.2.	Análisis del THD para la corriente del edificio de Bienestar Estudiantil.....	79
4.2.3.9.	Frecuencia del edificio de Bienestar Estudiantil.....	80
4.2.3.10.	<i>Flicker</i> del edificio de Bienestar Estudiantil.....	81
4.2.3.10.1.	<i>Flicker</i> según el índice Pst del edificio de Bienestar Estudiantil .....	82
4.2.3.10.2.	<i>Flicker</i> según el índice Plt del edificio de Bienestar Estudiantil .....	83
4.3.	Datos de compra de energía .....	84
4.4.	Rango de potencia de contratación.....	84
4.4.1.	Análisis tarifario del edificio S6.....	84
4.4.1.1.	Historial de consumo durante 12 meses del edificio S6 .....	87
4.4.1.1.1.	Elaboración gráfica de energía y potencia máxima del edificio S6 ..	87
4.4.2.	Análisis tarifario del edificio de Bienestar Estudiantil.....	89
4.4.3.	Historial de consumo durante 12 meses del edificio de Bienestar Estudiantil.....	91

4.4.3.1.	Elaboración gráfica de energía y potencia máxima del edificio de Bienestar Estudiantil .....	91
5.	ANÁLISIS TEORÉTICO DE LAS INSTALACIONES BAJO LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA .....	93
5.1.	Cálculo de conductores .....	93
5.1.1.	Cálculo de conductores por caída de tensión .....	93
5.2.	Edificio S6.....	95
5.2.1.	Cálculo de protecciones .....	99
5.2.2.	Diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad .....	102
5.2.2.1.	Iluminación de interiores.....	102
5.2.3.	Análisis económico .....	107
5.2.4.	Sistema de aire acondicionado.....	109
5.2.4.1.	Zona de confort.....	109
5.2.4.2.	Tipos y equipos de aire acondicionado.....	110
5.2.5.	Sistema generador de agua helada enfriados por aire, chillers.....	111
5.3.	Edificio de Bienestar Estudiantil .....	112
5.3.1.1.	Cálculo de protecciones del edificio de Bienestar Estudiantil .....	117
6.	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA. ....	123
6.1.	Definición de una tierra física .....	123
6.1.1.	Procedimiento de medición de la resistividad del terreno .....	124
6.2.	Impedancia actual del edificio Bienestar Estudiantil .....	127

6.2.1.	Impedancia recomendada .....	128
6.2.2.	Diseño propuesto para la red de tierras del edificio Bienestar Estudiantil.....	128
6.2.3.	Selección del conductor .....	129
6.2.4.	Elección de la malla .....	130
6.2.5.	Cálculo de la resistencia de la malla método de Schwarz.....	134
6.3.	Impedancia actual del edificio S-6.....	136
6.3.1.	Impedancia recomendada .....	137
6.3.2.	Diseño propuesto para la red de tierras del edificio S6.....	137
6.3.3.	Selección del conductor .....	138
6.3.4.	Elección de la malla .....	139
6.3.5.	Cálculo de la resistencia de la malla de tierra método de Schwarz.....	143
CONCLUSIONES.....		147
RECOMENDACIONES .....		149
BIBLIOGRAFÍA.....		151
APÉNDICES.....		153

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama unifilar del edificio S6.....	30
2.	Diagrama unifilar del edificio de Bienestar Estudiantil.....	42
3.	Monitoreo de eventos.....	45
4.	Software para extracción de datos.....	46
5.	Curva de demanda diaria potencia activa del edificio S6.....	48
6.	Curva de demanda diaria potencia reactiva del edificio S6.....	48
7.	Curva de carga semanal potencia activa del edificio S6.....	49
8.	Curva de carga semanal potencia reactiva del edificio S6.....	50
9.	Voltaje línea 1 del edificio S6.....	51
10.	Voltaje línea 2 del edificio S6.....	51
11.	Voltaje línea 3 del edificio S6.....	52
12.	Corriente línea 1 del edificio S6.....	53
13.	Corriente línea 2 del edificio S6.....	53
14.	Corriente línea 3 del edificio S6.....	54
15.	Potencia activa línea1, línea 2 y línea 3 del edificio S6.....	55
16.	Potencia reactiva línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6.....	56
17.	Potencia aparente línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6.....	57
18.	Desbalance eléctrico del edificio S6.....	58
19.	Factor de potencia, línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6.....	59
20.	Distorsión armónica en el voltaje del edificio S6.....	60
21.	Armónicas individual del edificio S6.....	61
22.	THD para la corriente del edificio S6.....	62
23.	Frecuencia del edificio S6.....	63

24.	<i>Flicker</i> según el índice Pst del edificio S6.....	64
25.	<i>Flicker</i> según el índice Plt del edificio S6.....	65
26.	Curva carga diaria potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil .....	66
27.	Curva de carga diaria potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil .....	66
28.	Curva carga semanal potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil .....	67
29.	Curva de carga semanal potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil .....	68
30.	Curva de voltaje línea 1 del edificio de Bienestar Estudiantil.....	69
31.	Curva de voltaje línea 2 del edificio de Bienestar Estudiantil.....	69
32.	Curva de voltaje línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil.....	70
33.	Corriente línea 1 del edificio de Bienestar Estudiantil .....	71
34.	Corriente línea 2 del edificio de Bienestar Estudiantil .....	71
35.	Corriente línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil .....	72
36.	Potencia activa línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil .....	73
37.	Potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil .....	74
38.	Potencia aparente del edificio de Bienestar Estudiantil .....	75
39.	Desbalance de voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil .....	76
40.	Factor de potencia del edificio de Bienestar Estudiantil.....	78
41.	Distorsión armónica de voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil .....	79
42.	THD para la corriente del edificio de Bienestar Estudiantil .....	80
43.	Frecuencia del edificio de Bienestar Estudiantil.....	81
44.	<i>Flicker</i> según el índice Pst del edificio de Bienestar Estudiantil.....	82
45.	<i>Flicker</i> según el índice Plt del edificio de Bienestar Estudiantil.....	83
46.	Grafica energía del edificio S6.....	87
47.	Potencia máxima del edificio S6 .....	88

48.	Gráfica energía del edificio de Bienestar Estudiantil .....	91
49.	Gráfica de potencia máxima del edificio de Bienestar Estudiantil .....	92
50.	Distribución de luminarias salón 210 .....	106
51.	Zona de confort .....	110
52.	Sistema por medio de chillers .....	111
53.	Método de Wenner.....	125
54.	Teluometro AEMC.....	127

## TABLAS

I.	Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente .....	7
II.	Tolerancias para el <i>flicker</i> generado por el Usuario. ....	10
III.	Tolerancias para el desbalance de tensión .....	15
IV.	Definición de <i>swell</i> IEEE 1159-1995 .....	16
V.	Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995 .....	16
VI.	Clasificación de interrupción según EN50160.....	17
VII.	Valor mínimo para el factor de potencia.....	17
VIII.	Cálculos regulación de tensión .....	20
IX.	Cálculo desbalance .....	20
X.	Cálculo factor de potencia.....	21
XI.	Cálculos regulación de tensión .....	21
XII.	Cálculo desbalance .....	22
XIII.	Cálculo factor de potencia.....	22
XIV.	Calibre de conductores del edificio S6 .....	24
XV.	Especificación del tablero principal del edificio S6 .....	24
XVI.	Carga actual y disponibilidad del tablero principal del edificio S6 .....	25
XVII.	Cálculos realizados con corrientes picos del edificio S6 .....	25
XVIII.	Conductores en tableros secundarios del edificio S6 .....	27
XIX.	Conductores tableros auxiliares del edificio S6.....	27

XX.	Especificación tableros secundarios del edificio S6.....	28
XXI.	Tableros auxiliares primer nivel del edificio S6 .....	29
XXII.	Tableros auxiliares tercer nivel del edificio S6 .....	29
XXIII.	Nivel de iluminación actual del edificio S6 .....	31
XXIV.	Calibre de conductores del edificio de Bienestar Estudiantil.....	34
XXV.	Tablero principal del edificio del edificio de Bienestar Estudiantil .....	34
XXVI.	Carga actual y disponibilidad del tablero principal del edificio de Bienestar Estudiantil .....	35
XXVII.	Cálculos realizados con corrientes pico del edificio de Bienestar Estudiantil .....	36
XXVIII.	Conductores en tableros secundarios del edificio de Bienestar Estudiantil .....	37
XXIX.	Conductores tableros auxiliares del edificio de Bienestar Estudiantil ...	38
XXX.	Especificación de los tableros secundarios del edificio de Bienestar Estudiantil .....	39
XXXI.	Tableros auxiliares del edificio de Bienestar Estudiantil .....	40
XXXII.	Tarifa baja tensión con demanda fuera de punta BTDFp del edificio S6 .....	85
XXXIII.	Tarifa baja tensión con demanda en punta BTDP del edificio S6 .....	85
XXXIV.	Tarifa media tensión con demanda fuera de punta del edificio S6 .....	86
XXXV.	Tarifa media tensión con demanda en punta del edificio S6.....	86
XXXVI.	Tarifa baja tensión con demanda fuera de punta BTDFp del edificio de Bienestar Estudiantil .....	89
XXXVII.	Tarifa baja tensión con demanda en punta BTDP del edificio de Bienestar Estudiantil .....	89
XXXVIII.	Tarifa media tensión con demanda fuera de punta MTDfp del edificio de Bienestar Estudiantil .....	90
XXXIX.	Tarifa media tensión con demanda en punta MTDp del edificio de Bienestar Estudiantil .....	90

XL.	Cálculo conductores, acometida y alimentadores principales del edificio S6.....	96
XLI.	Cálculo de conductores, tablero primer nivel del edificio S6 .....	97
XLII.	Conductores segundo nivel del edificio S6.....	97
XLIII.	Conductores tercer nivel del edificio S6 .....	98
XLIV.	Cálculo de protecciones tablero principal del edificio S6.....	100
XLV.	Protecciones primer nivel del edificio S6.....	100
XLVI.	Protecciones segundo nivel del edificio S6 .....	101
XLVII.	Protecciones tercer nivel del edificio S6.....	101
XLVIII.	Nivel de iluminación recomendada en lux .....	102
XLIX.	Iluminación actual tubo fluorescente .....	107
L.	Diseño propuesto tubo led .....	107
LI.	Periodo de recuperación .....	109
LII.	Cálculo conductores, acometida y alimentadores principales .....	113
LIII.	Cálculo de conductores, tablero primer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil.....	114
LIV.	Conductores segundo nivel del edificio de Bienestar Estudiantil .....	115
LV.	Conductores tercer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil .....	116
LVI.	Cálculo de protecciones tablero principal del edificio de Bienestar Estudiantil.....	118
LVII.	Protecciones primer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil.....	118
LVIII.	Protecciones segundo nivel del edificio de Bienestar Estudiantil .....	119
LIX.	Protecciones tercer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil.....	120
LX.	Valores de impedancias .....	124
LXI.	Resistencia y resistividad del terreno .....	126
LXII.	Valores nominales.....	128
LXIII.	Valores nominales edificio S6 .....	137



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>AGW</b>	<i>American wire gage</i>
<b>Fp</b>	Factor de potencia
<b>Hz</b>	Hertz
<b>KW</b>	Kilovatio
<b>Mcm</b>	Miles de circular mils
<b>Mm<sup>2</sup></b>	Milímetros cuadrados
<b>Ω</b>	Ohmios
<b>π</b>	Pi
<b>R<sub>2</sub></b>	Resistencia de todas las varillas
<b>R<sub>1</sub></b>	Resistencia del conductor
<b>R<sub>12</sub></b>	Resistencia mutua entre R <sub>1</sub> y R <sub>2</sub>
<b>ρ</b>	Resistividad del terreno



## GLOSARIO

<b>Barra</b>	material de cobre que es utilizado para derivar corrientes a conductores por medio de bornes, para los alimentadores.
<b>Circuito</b>	El lazo cerrado o camino por el que fluye una corriente.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>Impedancia</b>	Es la oposición al paso de corriente cuando la señal es alterna o sinusoidal.
<b>NEC</b>	Código Eléctrico Nacional.
<b>NTSD</b>	Norma Técnica del Servicio de Distribución.
<b>Transformador</b>	Dispositivo eléctrico que sirve para reducir o elevar los niveles voltaje.



## RESUMEN

La importancia de este trabajo de graduación radica en el apoyo para el mejoramiento al sistema eléctrico de los edificios de la universidad, realizando un análisis del estado actual de los diferentes elementos que componen el sistema eléctrico.

En el capítulo 1 se dan a conocer las funciones de la Universidad de San Carlos, que es la única universidad autónoma que velar por la educación superior de Guatemala.

En el capítulo 2 análisis basado en estudio con la calidad de la energía y transitorios, que ocurren a la implementación de nuevas carga no lineales, así como las normas que rigen y recomiendan valores admisibles para estos eventos.

En el capítulo 3 una evaluación del estado actual de las instalaciones eléctricas, la caracterización y cuantificación de la carga instalada.

En el capítulo 4 se realizó un estudio de calidad de la energía, donde se analizaron los diferentes parámetros como el voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, desbalance, flicker y análisis de armónicos, se realizó un análisis tarifario para la compra en energía.

En el capítulo 5 se realiza un cálculo para los conductores y protecciones con base en la carga demandada en cada uno de los circuitos alimentadores y ramales.

Capítulo 6 se realiza el diseño para una red de tierra física, cumpliendo con los parámetros establecidos por el código de electrificación nacional con base en la demanda eléctrica.

# OBJETIVOS

## Generales

Análisis y estudio de calidad de energía con base en conocimientos sólidos y científicos en los edificios S6 y el Bienestar Estudiantil, instalaciones anexo a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Reestructuración contemplando los accesorios existentes de las instalaciones eléctricas para un rediseño acorde a los requerimientos de las nuevas ediciones de normas de regulación.

Medición de magnitudes en distintos puntos que conforma la red de instalación para su análisis y comparación con los patrones estándar recomendados por las normas.

## Específicos

1. Verificación de magnitudes de corriente y voltaje en alimentadores y circuitos ramales que transportan energía a luminarias y dispositivos de recepción.
2. Evaluación de cargas en funcionamiento que pueden generar perturbación en los patrones de señales, si tal fuese el caso, la implementación de circuitos que eliminan dichas señales, contemplando los requerimientos de futuras cargas.

3. Obtención y uso de la instalación eléctrica existente de los edificios S6 y bienestar estudiantil reivindicada para una mejora calidad de servicio de mayor rendimiento.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la población estudiantil del campus central de la universidad va en constante aumento, por tal razón se necesita que se revise la estructura eléctrica para suplir la demanda creciente, esto requiere que su sistema eléctrico se analice desde su alimentador general hasta sus circuitos ramales, considerando el aumento de cargas eléctricas y contemplando los patrones de calidad de energía establecidos por las normas de regulación.

Por tal razón, en el presente trabajo de graduación se realiza un estudio técnico basado en la evaluación de accesorios existentes como: conductores eléctricos, interruptores termomagnéticos, tipos de cargas a instalar, entre otras, que servirá como patrones de valores numéricos de capacidad de cargas del edificio S-6 y Bienestar Estudiantil. También tiene considerado en dicho estudio la mitigación de fenómenos relacionados a la calidad de energía.



## **1. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Es una institución autónoma con personalidad jurídica. En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestación, cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

Se rige por su Ley Orgánica y por los estatutos y reglamentos que ella emita, debiendo observarse en la conformación de los órganos de dirección, el principio de representación de sus catedráticos titulares, sus graduados y sus estudiantes.

### **1.1. Jerarquía de mando**

El gobierno de la Universidad de San Carlos de Guatemala corresponde al Consejo Superior Universitario, integrado por el Rector, quien lo preside son los decanos de la facultades; un representante del colegio profesional, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que corresponda a cada facultad; un catedrático titular y un estudiante por cada facultad.

#### **1.1.1. Sostenimiento**

“Corresponde a la Universidad de San Carlos de Guatemala una asignación privativa no menor del cinco % del Presupuesto General de Ingresos Ordinarios del Estado, debiéndose procurar un incremento presupuestal

adecuado al aumento de su población estudiantil o al mejoramiento del nivel académico.”<sup>1</sup>

### **1.1.2. Reseña histórica**

La Universidad de San Carlos de Guatemala, también conocida y llamada por sus siglas USAC es la universidad más grande y antigua de Guatemala, siendo además la única estatal en ese país centroamericano. Establecida en la Capitanía General de Guatemala durante la colonia española, fue la más prestigiosa institución de educación superior de Centro América y la única de Guatemala hasta 1954.

### **1.1.3. Misión**

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

### **1.1.4. Visión**

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con

---

<sup>1</sup> Diputados de la Asamblea Nacional Constituyente. *Constitución Política de la República de Guatemala, Artículo 82,83.* p. 16.

recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.

#### **1.1.5. Servicios que presta**

- Jardín botánico
- Laboratorio Clínico Popular (LABOCLIP)
- Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM)
- Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos (LCMA)
- Laboratorio de Producción de Medicamentos (LAPROMED)
- laboratorio escuela
- periódico universidad
- PROGRAMA DE EXPERIENCIAS DOCENTES CON LA COMUNIDAD
- radio universidad
- revista universidad
- Servicio de Consulta Terapéutica y Toxicológica (SECOTT)
- TV USAC
- Bufete popular asesoría jurídica gratuita
- Servicio de odontología a la población a bajo costo



## **2. FENÓMENOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE ENERGÍA Y TRANSITORIOS**

### **2.1. Armónicos**

Los armónico se definen como un componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia fundamental. Es decir, un armónico se entiende como tensiones o corrientes presentes en un sistema eléctrico con respecto a la frecuencia fundamental (60 Hz).

#### **2.1.1.1. Repercusiones**

La presencia de armónicos en el sistema genera perturbaciones inaceptables sobre la red de distribución de energía eléctrica causando el recalentamiento de motores, cables y transformadores y asimismo, el disparo de interruptores automáticos, el sobrecalentamiento de capacitores, mal funcionamiento de distintos equipos como computadoras, máquinas de control numérico y equipos de control, protección y medición.

#### **2.1.2. Armónicos según las normas**

A continuación, se presentan los armónicos según las normas.

### 2.1.2.1. Norma de transmisión y de servicio de distribución de la CNEE

Índice de calidad de la distorsión armónica de la corriente de carga. El índice está dado por la distorsión armónica de la corriente de carga medida en el punto de conexión.

Para tensiones mayores de 1 kV y potencias de carga mayores de 10 kW, se utiliza:

$$DATI = \left( \sqrt{\sum \frac{I_i^2}{I_1}} \right) * 100 \quad Ec. 2.3$$

Donde:

DATI = distorsión armónica total de corriente

DAII = distorsión armónica individual de corriente

$I_i$  = componente de la intensidad de corriente de la armónica de orden  $i$ .

$I_1$  = componente de la intensidad de corriente de la frecuencia fundamental (60 Hz).

$$\Delta I_i = (I_i \text{ carga} - I_i \text{ límite}) \quad Ec. 2.4$$

Dónde:

$I_i$  límite = límite de tolerancia establecida para la intensidad armónica.

Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga. La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del usuario, del nivel de voltaje al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica, por lo que en la tabla I se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

Tabla I. **Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente**

Orden de la armónica (n)	P ≤ 10 kw V ≤ 1 kv	P > 10 kw 1kv < v ≤ 60 kv	P>50kw V>60kv
	Intensidad armónica máxima(Amp)	Distorsión armónica individual de corriente daii, en %	
Impares no múltiplos de 3			
5	2,28	12,0	6,0
7	1,54	8,5	5,1
11	0,66	4,3	2,9
13	0,42	3,0	2,2
17	0,26	2,7	1,8
19	0,24	1,9	1,7
23	0,2	1,6	1,1
25	0,18	1,6	1,1
>25	4,5/n	0,2 + 0,8*25/n	0,4
Impares múltiplos de 3			
3	4,60	16,6	7,5
9	0,80	2,2	2,2
15	0,30	0,6	0,8
21	0,21	0,4	0,4
>21	4,5/n	0,3	0,4
Pares			
2	2,16	10,0	10,0
4	0,86	2,5	3,8
6	0,60	1,0	1,5
8	0,46	0,8	0,5
10	0,37	0,8	0,5
12	0,31	0,4	0,5
>12	3,68/n	0,3	0,5
Distorsión armónica total de corriente dati, en %	--	20	12

Fuente: CNEE. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución.*

### **2.1.2.2. Estándar IEC 61000-3-2**

Establece los límites de distorsión de armónicos de corriente manejados en Europa, es necesario aclarar que los límites especificados, son definidos para el sistema eléctrico conectado a 220/380, 230/400 y 240/415 V operando a 50 o 60 Hz.

El estándar está limitado para equipos con emisiones de corrientes armónicas menores a 16 amperios. Para propósitos de limitar las corrientes armónicas se clasifican los equipos de la siguiente manera:

- Clase A: equipo trifásico balanceado, utensilios domésticos (excluyendo equipos clasificados como clase D), herramientas (excluyendo herramientas portátiles), controladores de lámparas incandescentes y equipo de audio.
- Clase B: herramientas portátiles y equipos de soldadura de arco que no son equipos profesionales.
- Clase C: equipo de iluminación.
- Clase D: computadores personales y televisores.

### **2.1.2.3. Estándar IEEE 519**

Establece los límites de distorsión armónica de corriente, tomando en cuenta la relación de la máxima corriente de corto-circuito y la máxima corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de suministro o punto de acople común del sistema de distribución.

Este estándar establece que los armónicos pares están limitados al 25 % de los límites de armónicos impares. Además, establece que todos los equipos de generación de potencia están limitados al valor de distorsión de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$ , sin importar el valor real de la relación  $I_{sc}/I_L$ .

## **2.2. Flicker**

El *flicker* es la percepción de la variación de la luminosidad de una lámpara, ocasionada por fluctuaciones de tensión en la red de alimentación eléctrica. Origina en quien lo percibe una sensación desagradable. Este fenómeno depende fundamentalmente de la amplitud, frecuencia y duración de las fluctuaciones de tensión que lo causan, éstas pueden oscilar entre los 0,5Hz y los 25Hz de frecuencia.

### **2.2.1. Flicker según las normas**

A continuación, se muestran los *flicker* según las normas técnicas de servicio de distribución.

#### **2.2.1.1. NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución)**

Índice de calidad de *flicker* en la tensión. El *flicker* deberá ser medido por el índice de severidad de corto plazo  $P_{st}$ , definido por la Norma IEC 1000-3-7.

Tolerancia para *flicker* en la tensión. El índice de tolerancia máxima para el *flicker* está dado por:

$$P_{st} \leq 1$$

Dónde:

Pst = índice de severidad de *flicker* de corto plazo.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al 5 % del empleado en las mediciones en el período de medición, dichas mediciones muestran que el *flicker* ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Control para el *flicker* en el voltaje. El control se realizará a través de cuatro mediciones mensuales en los bornes de baja tensión de transformadores media/baja tensión. Los puntos deberán ser propuestos a la comisión tres meses antes de realizarse la medición, y la comisión podrá modificar los puntos si lo considera conveniente. Las mediciones deberán ser tomadas con un medidor de *flicker*, de acuerdo con la Norma IEC 868.

Índice de *flicker* generado por el usuario. El índice de *flicker* generado por el usuario se determina por el índice de severidad de *flicker* de corto plazo (Pst) medido sobre la impedancia de referencia fijada por la Norma 61000-3-3.

Tabla II. **Tolerancias para el *flicker* generado por el usuario**

Carga (SI) kW	Pst
Tensión: ( $\leq 1$ kV)	
$SI \leq 20$	1,00
$20 < SI \leq 30$	1,26
$30 < SI \leq 50$	1,58
$SI > 50$	1,86
Tensión: ( $1\text{kV} < V \leq 230\text{kV}$ )	
$SI / Scc \leq 0.005$	0,37
$0.005 < SI / Scc \leq 0.02$	0,58
$0.02 < SI/Scc \leq 0.04$	0,74
$SI / Scc > 0.04$	0,80

Fuente: CNEE. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución.*

- Scc: Capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del flicker [kVA].

Control para el *flicker* generado por el usuario. El control del *flicker* generado por los usuarios será responsabilidad de los distribuidores, así como también el desarrollo de las acciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios.<sup>2</sup>

#### **2.2.1.2. Norma IEC 61000-3-3**

El estándar da límites y los procedimientos de la evaluación para el equipo de baja tensión con corrientes nominales menores a 16 A.

La base para la evaluación del *flicker* es el cambio en la forma de onda de voltaje en las terminales del equipo bajo prueba, que es la diferencia DV de dos valores sucesivos de voltaje fase a neutro V (t1) y V (t 2).

$$DV = V(t1) - V(t2) \text{ Ec. 2.5}$$

- Límites: los límites serán aplicables a las fluctuaciones y parpadeos de tensión en las terminales de suministro de equipos bajo prueba. Los siguientes límites de aplicación son:
  - El valor de Pst no deberá ser superior a 1,0.
  - El valor de Plt no podrá ser superior a 0,65.
  - El equipo no producirá una fluctuación relativa máxima, demanda máxima, de voltaje rms, no excederá a más del 4 %.

---

<sup>2</sup> CNEE, Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-. p. 28.

- Los cambios de voltaje de estado estable, de corriente directa, no excederá a más del 3 %.

El período de medición para los métodos de análisis de flicker será:

- Para Pst = 10 minutos.
- Para Plt = 2 horas.

La prueba de los equipos se realizará en el marco de la impedancia de referencia,  $Z_{ref}$ , según establece esta norma, es una convención de impedancia utilizada en el cálculo y la medición del cambio relativo de voltaje, y valores del Pst y Plt.

Los valores inmersos en la impedancia de prueba en los equipos son los siguientes:

- $Z_{ph} = 0.24 + j0,15$  Ohms
- $Z_n = 0.16 + j0,10$  Ohms

### **2.2.1.3. Norma IEC 61000-3-5**

Esta norma establece límites y procedimientos de evaluación para el equipo de baja tensión con corriente nominales mayores que 16 A. Los límites en 61000-3-5 son dados en 61000-3-3. Se reconoce, sin embargo, que una impedancia más baja de la fuente será requerida para resolver estos requisitos para un equipo más grande. Además, la Norma IEC 61000-3-5 reconoce que el equipo puede producir fluctuaciones del voltaje en un índice de menos de uno por hora. En estos casos, los límites de Pst y los

Plt no son aplicables. La desviación del voltaje máximo rms se limita a 1,33 veces el límite del 4 % de la Norma IEC 61000-3-3. La Norma IEC 61000-3-5 reconoce especialmente que el equipo de baja tensión con una corriente nominal mayor que 75A debe ser evaluada basada en la impedancia real de la fuente en el punto de la conexión. El Pst puede ser estimado basado en el tamaño relativo de la potencia aparente de la carga y del grado de la potencia aparente del transformador de la fuente. El límite de Plt se fija igual a  $0,65P_{st}$  para el equipo con corrientes nominales  $>75A$ .

### **2.3. Desbalance**

Se considera que existe un desbalance o desequilibrio de la tensión o corriente suministrada cuando el valor eficaz dígase amplitud de la onda y la separación entre las fases no son iguales a un desfase requerido de  $120^\circ$ .

El desbalance de voltaje permitido debe ser menor al 2 % regidas por normas europeas o menor al 3 % regidas por normas americanas.

Los desbalances de corriente se producen cuando la intensidad que circula por las tres fases no es igual, lo cual provoca que la corriente que circula por el neutro no sea nula. El resultado es un sobrecalentamiento en las cargas, cables y protecciones. El desbalance en corriente nunca debe superar el 10 %.

Los desbalance de tensión se originan por un incorrecto reparto de cargas en la instalación. En instalaciones con armónicos, a pesar de que el sistema trifásico esté balanceado, puede circular corriente por el hilo de neutro.

### 2.3.1. Desbalance según Norma NTSD

Índice de calidad del desbalance de la tensión suministrada por el distribuidor. El índice para evaluar el desbalance de tensión en servicios trifásicos, se determina sobre la base de comparación de los valores eficaces (RMS) de tensión de cada fase, medidos en el punto de entrega y registrados en cada Intervalo de Medición (k). Este índice está expresado como un porcentaje:

$$\Delta DTD (\%) = \left[ 3 \frac{(V_{max} - V_{min})}{(V_a + V_b + V_c)} \right] * 100 \quad Ec. 2.6$$

Dónde:

$\Delta DTD (\%)$  = porcentaje de desbalance de tensión por parte del distribuidor.

$V_{max}$  = es la tensión máxima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo de Medición k.

$V_{min}$  = es la tensión mínima de cualquiera de las fases registrada en el intervalo de Medición k.

$V_a$  = es la tensión de la fase a, registrada en el intervalo de medición k.

$V_b$  = es la tensión de la fase b, registrada en el intervalo de medición k.

$V_c$  = es la tensión de la fase c, registrada en el intervalo de medición k.

La tolerancia admitida sobre el desbalance de tensión en los puntos de entrega de energía, será como se indica en la tabla III.

Tabla III. **Tolerancias para el desbalance de tensión**

Tensión	Desbalance de tensión, $\Delta dtd$ , en %
	Etapa de régimen a partir del mes 13
Baja y media	3
Alta	1

Fuente: CNEE. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*,

#### 2.4. Sags

Según el estándar EN-50160, un sag o hueco en el voltaje de alimentación se define de la siguiente forma: disminución brusca del voltaje de alimentación a un valor situado entre el 90 y el 1 % del voltaje de alimentación declarada nominal, seguida del restablecimiento del voltaje después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de voltaje dura de 10 ms a 1 minuto. La profundidad de un hueco de voltaje se define como la diferencia entre el voltaje eficaz mínima durante el hueco de voltaje y el voltaje declarada. Las variaciones de voltaje que no reducen el voltaje de alimentación a un valor inferior al 90 % del voltaje declarada nominal no se consideran como huecos de voltaje.

#### 2.5. Swells

Según lo recomendado en el Standard IEEE 1159-1995, un *swell* se define como un aumento del voltaje eficaz de una duración comprendida entre 0,5 ciclos y 1 minuto. La magnitud típica de un *swell* está comprendida entre el 110 y el 180 % de la tensión nominal. Al igual que los huecos de voltaje, los *swells* son producidos normalmente por fallos en la red, pero son mucho menos frecuentes que los huecos de voltaje. Un *swell* se puede producir como resultado de un fallo de línea a tierra que puede dar origen al aumento de

voltaje en la fase no afectada por el fallo. La magnitud del aumento del voltaje es función de la localización del fallo, de la impedancia del sistema y del tipo de conexión a tierra.

Tabla IV. **Definición de *swell* IEEE 1159-1995**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Instantáneo	De 0.5 a 30 ciclos
Momentáneo	De 30 ciclos a 3 seg.
Temporal	De 3seg. a 1 minuto

Fuente: Norma IEEE 1159-1995.

## 2.6. Interrupciones

Las interrupciones se definen como, una pérdida absoluta del voltaje durante un cierto tiempo.

Según la Norma IEEE 1159-1995, define que una interrupción se produce cuando el voltaje de alimentación es inferior a 0,1 p.u. durante un tiempo inferior a 1 minuto.

Tabla V. **Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Momentánea	de 0,5 ciclo a 3 segundos con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Temporal	de 3 segundos a 1minuto con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Sostenida	mayores a 1 minuto y magnitud de 0,0 p.u.

Fuente: Norma IEEE 1159-1995.

De acuerdo con la recomendación que brinda la Norma EN50160, una interrupción de la alimentación se define como: condición en que la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1 % de la tensión nominal.

Tabla VI. **Clasificación de interrupción según EN50160**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Momentánea	De 0,5 ciclos a 3 segundos con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Temporal	De 3 segundos a 1 minuto con una magnitud menor a 0,1 p.u.
Sostenida	Mayores a 1 minuto y magnitudes de 0,0 p.u.

Fuente: Norma IEEE 1159-1995.

“Interrupciones según Norma de Transmisión y Servicio de Distribución de la Comisión de Energía Eléctrica. Se considerará como interrupción toda falta de servicio de energía eléctrica en el punto de entrega. Para efectos de estas normas, no se considerarán las interrupciones menores de tres minutos; así como las que sean calificadas como casos de fuerza mayor.”<sup>3</sup>

## 2.7. Factor de potencia

Según la Norma de Servicio de Transmisión y Distribución de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, el valor mínimo para el factor de potencia se evalúa como, el valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo a la potencia del Usuario, de la siguiente forma:

Tabla VII. **Valor mínimo para el factor de potencia**

Usuarios con potencias de hasta 11 kW	0,85
Usuarios con potencias superiores a 11 kW	0,90

Fuente: Norma IEEE 1159-1995.

El control se realizará en el punto de medición o en la acometida del usuario, en períodos mínimos de siete días, registrando datos de energía activa

<sup>3</sup> CNEE. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-*. p. 31.

y reactiva. El factor de potencia se determinará, efectuando mediciones tanto en el período horario de punta como en el resto del día, de acuerdo a lo indicado a continuación:

$$Fpot_p = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2}} \quad Ec. 2,7$$

Donde:

$Fpot_p$  = factor de potencia para el período horario (p).

$EnergAct_p$  = energía activa registrada en el período de registro para el período horario (p).

$EnergReact_p$  = energía reactiva registrada en el período de registro para el período horario (p).

“Todo lo relativo a la indemnización por bajo factor de potencia será incluido en el contrato entre el distribuidor y el usuario, considerando lo estipulado en los pliegos tarifarios fijados por la comisión.”<sup>4</sup>

## **2.8. Magnitudes eléctricas para la obtención de una calidad de energía**

A continuación se describen las magnitudes eléctricas para la obtención de una energía de calidad.

### **2.8.1. Nivel de voltaje o de tensión**

La energía suministrada al usuario final puede ser monofásica o trifásica, la energía monofásica se suministra usualmente para usuarios residenciales de

---

<sup>4</sup> CNEE. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-*. p. 30.

oficina y pequeños comercios, por ende el nivel de voltaje típico para la alimentación monofásica es de 127/220 V.

El servicio de alimentación trifásica se proporciona generalmente a usuarios comerciales, agroindustriales, industriales que sean altos consumidores, los servicios requeridos para los niveles de energía para alimentadores trifásicos para usuarios comerciales e industriales en baja tensión son de 220, 440 y 480 voltios medidos de fase a fase.

## 2.9. Cálculo de valores según Norma NTSD

Los cálculos realizados de la calidad de energía con base en la Norma Técnica del Servicio de Distribución (NTSD), sobre el estudio realizado a los edificios del Bienestar Estudiantil y S6.

- Regulación de tensión para el edificio de Bienestar Estudiantil.

$$\Delta V_k (\%) = (|V_k - V_n|) / V_n \times 100$$

Dónde:

$\Delta V_k (\%)$  = índice de regulación de tensión

$V_k$  = 205 V

$V_n$  = 208 V

$$\Delta V_k (\%) = (|205 - 208|) / 208 \times 100$$

$$\Delta V_k (\%) = 1,44$$

Tabla VIII. **Cálculos regulación de tensión**

Líneas	V <sub>k</sub>	V <sub>n</sub>	ΔV <sub>k</sub> (%)
L <sub>1</sub>	205	208	1,44
L <sub>2</sub>	205	208	1,44
L <sub>3</sub>	204	208	1,19

Fuente: elaboración propia.

- Desbalance de tensión en servicios trifásicos.

$$\Delta DTD (\%) = \left[ 3 \frac{(V_{max} - V_{min})}{(V_a + V_b + V_c)} \right] * 100$$

$$\Delta DTD (\%) = \left[ 3 \frac{(206 - 199)}{(205 + 205 + 204)} \right] * 100$$

Tabla IX. **Cálculo desbalance**

V <sub>max</sub>	V <sub>min</sub>	V <sub>a</sub>	V <sub>b</sub>	V <sub>c</sub>	ΔDTD (%)
206	199	205	205	204	3,42

Fuente: elaboración propia.

- Factor de potencia.

$$F_{pot_p} = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2}}$$

$$F_{pot_p} = \frac{1\ 536,49}{\sqrt{1\ 536,49^2 + 66,97^2}}$$

$$F_{pot_p} = 0,99$$

Tabla X. **Cálculo factor de potencia**

Energía activa	Energía reactiva	Factor de potencia
1 536,49	66,97	0,99

Fuente: elaboración propia.

- Regulación de tensión para el edificio S-6.

$$\Delta V_k (\%) = (|V_k - V_n|) / V_n \times 100$$

Dónde:

$\Delta V_k (\%)$  = índice de regulación de tensión

$V_k$  = 202 V

$V_n$  = 208 V

$$\Delta V_k (\%) = (|202 - 208|) / 208 \times 100$$

$$\Delta V_k (\%) = 2,88$$

Tabla XI. **Cálculos regulación de tensión**

Líneas	$V_k$	$V_n$	$\Delta V_k (\%)$
L <sub>1</sub>	202	208	2,88
L <sub>2</sub>	202	208	2,88
L <sub>3</sub>	204	208	2,88

Fuente: elaboración propia.

- Desbalance de tensión en servicios trifásicos.

$$\Delta DTD (\%) = \left[ 3 \frac{(V_{max} - V_{min})}{(V_a + V_b + V_c)} \right] * 100$$

$$\Delta DTD (\%) = \left[ 3 \frac{(205 - 200)}{(205 + 205 + 205)} \right] * 100$$

Tabla XII. **Cálculo desbalance**

$V_{max}$	$V_{min}$	$V_a$	$V_b$	$V_c$	$\Delta DTD (\%)$
205	200	205	205	206	2,44

Fuente: elaboración propia.

- Factor de potencia

$$Fpot_p = \frac{EnergAct_p}{\sqrt{EnergAct_p^2 + EnergReact_p^2}}$$

$$Fpot_p = \frac{2572.1}{\sqrt{2572.1^2 + 269,11^2}}$$

$$Fpot_p = 0,99$$

Tabla XIII. **Cálculo factor de potencia**

Energía activa	Energía reactiva	Factor de potencia
2 572,1	269,11	0,99

Fuente: elaboración propia.

### **3. DATOS ACTUALES Y EN FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES**

#### **3.1. Edificio S6**

El edificio S-6 actualmente forma parte de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene más de treinta años de estar en funcionamiento, fue construido para abastecer la demanda de salones de clases que se requerían en ese momento, al transcurrir el tiempo fueron instalando una serie de oficinas creadas para abastecer la demanda de dicha facultad.

##### **3.1.1. Alimentadores del edificio S6**

El edificio cuenta con dos entradas principales, en la entrada oeste del primer nivel se puede localizar el tablero de distribución principal, de ese tablero de derivan los circuitos de distribución para cada uno de los tres niveles del edificio, la característica del servicio es un sistema trifásico de cuatro conductores tipo AWG THW calibre número 250 MCM conectado en delta-estrella montado en un poste de concreto a 90 metros del tablero, por el tipo de conexión el banco de transformación proporciona un voltaje nominal en el secundario de 120/208v.

##### **3.1.1.1. Conductores del edificio S6**

Actualmente el edificio es alimentado por un sistema trifásico de cuatro hilos para alimentar el tablero principal, la alimentación para los tableros

secundarios se realiza del tablero principal, con las características siguientes: alimentadores trifásicos de cuatro hilos, todos los conductores son tipo THW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 75 °C.

**Tabla XIV. Calibre de conductores del edificio S6**

Núm.	Descripción	Voltaje (Volts)	Conductor THW
Principal	Acometida principal	208	250 MCM
Circuito 1	Alimentación primer nivel	208	Núm. 2 MCM
Circuito 2	Alimentación segundo nivel	208	Núm. 2 MCM
Circuito 3	Alimentación tercer nivel	208	Núm. 2 MCM

Fuente: elaboración propia.

### **3.1.1.2. Tipos de tableros del edificio S6**

Se cuenta con un tablero principal con barras adecuadas para la capacidad de carga de consumo del edificio, el tablero principal no cuenta con un interruptor general, realizando una inspección visual los tableros se encuentran en buen estado, existe un tablero secundario de distribución por cada nivel, encargada de alimentar las cargas conectadas y alimentar a los tableros auxiliares.

**Tabla XV. Especificación del tablero principal del edificio S6**

Capacidad de barra	225 amperios
Núm. de polos	8
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	4 de 3*100 amperios

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Carga actual y disponibilidad del tablero principal del edificio S6**

		<b>Uso Amp.</b>	<b>Disponible Amp.</b>	<b>% Uso</b>	<b>%disponible</b>
Conductores 250 KCM 255 Amp.	Fase A	94,29	160,71	36,98	63,02
	Fase B	114,58	140,42	44,93	55,07
	Fase C	97,13	157,87	38,09	61,91
Barras 225 amp.		102	123	45,33	54,66
Núm. de fases	3				
Interruptor principal	No cuenta				
Potencias					
L1	33 969,53				
L2	41 070,39				
L3	34 989,09				
Potencia total	110 029,01				
voltaje	208				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Cálculos realizados con corrientes picos del edificio S6**

		<b>Uso Amp.</b>	<b>Disponible Amp.</b>	<b>% Uso</b>	<b>%disponible</b>
Conductores 250 KCM 255 Amp.	Fase A	157,79	97,21	61,89	38,11
	Fase B	192,78	62,22	75,6	24,4
	Fase C	171,85	83,15	67,39	32,61
Barras 225 amp.		174,14	50,86	77,39	22,61
Núm. de fases	3				
Interruptor principal	No cuenta				
Potencias					
L1	56 846,46				
L2	69 452,18				
L3	61 911,80				
Potencia total	188 210,45				
voltaje	208				

Fuente: elaboración propia.

Según los datos calculados con corriente nominal, en ningún momento se esfuerza los conductores, ya que el porcentaje de carga conectada es bajo, como se establece que un conductor debe transportar solo el 60 % de su carga nominal para que esta no sufra calentamiento por sobrecarga, en el caso de los cálculos con corrientes pico, estos valores obtenidos son mayores del 60 %, pero está lejos de que los conductores lleguen a sufrir sobrecarga.

### **3.1.1.3. Tipos de cargas del edificio S6**

Los equipos basados en electrónica cada vez son más utilizados en instalaciones eléctricas, industriales, comerciales y residenciales donde el incremento del uso de equipos electrónicos domésticos basados en electrónica en especial los computadores personales, por ende el tipo de carga en un gran porcentaje utilizado en el edificio es carga no lineal compuestas por semiconductores y en un bajo porcentaje en carga lineal de carácter resistivo.

### **3.1.2. Circuitos ramales del edificio S6**

Son derivaciones que se realizan desde un centro de distribución, actualmente cuenta con circuitos ramales para alimentar las diferentes cargas finales, se derivan circuitos para alimentar el sistema de iluminación, los circuitos de fuerza, alimentación de ventiladores, circuito para computadoras, alimentación imprenta, bomba de agua, distribuida para los diferentes niveles del edificio.

#### **3.1.2.1. Conductores del edificio S6**

Los conductores utilizados para la alimentación de los diferentes ramales son de diferentes calibres según la corriente demandada por la carga puntual o

un conjunto de cargas distribuidas, todos los conductores son tipo TW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 60 °C.

Tabla XVIII. **Conductores en tableros secundarios del edificio S6**

Núm. circuito	Conductor TW	Capacidad de conducción (amperios)
Tablero secundario del primer nivel		
1,2,3,4,5,6,7,11,12,13,14,16,18,19,20,21,22	12	20
8,9,10,15,17	10	30
Tablero secundario del segundo nivel		
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,15,18,19,20	12	20
13,14,16,17	8	40
Tablero secundario del tercer nivel		
Todos	12	20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Conductores tableros auxiliares del edificio S6**

Núm. Circuito	Conductor TW	Capacidad de conducción (amperios)
Tablero auxiliar núm. 1 primer nivel		
1,2,3,	12	20
Tablero auxiliar núm. 2 primer nivel		
1,2	14	15
Tablero auxiliar núm. 3 primer nivel		
1	14	15
Tablero auxiliar núm. 4 primer nivel		
1	8	40
2	12	20
Tablero auxiliar núm. 5 primer nivel		
1	8	40
2	12	20
Tablero auxiliar núm. 1 tercer nivel		
1,2	12	20
Tablero auxiliar núm. 2 primer nivel		
1	12	20
Tablero auxiliar núm. 3 primer nivel		
1,2	12	20

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.2. Tipos de tableros del edificio S6

Los tableros secundarios de distribución tienen una alimentación directa desde el tablero principal, Actualmente presenta un desorden en la colocación de los conductores dentro del tablero, además existen derivaciones hacia tableros auxiliares desde sus bornes, todos los interruptores y las barras se encuentran en buen estado.

Tabla XX. **Especificación tableros secundarios del edificio S6**

<b>Tablero secundario primer nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100 amperios
Núm. de polos	24
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	6 de 1x15 amperios 7 de 1x20 amperios 6 de 1x30 amperios 3 de 1x40 amperios
<b>Tablero secundario segundo nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100 amperios
Núm. de polos	24
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	3 de 1x15 amperios 16 de 1x20 amperios 1 de 1x30 amperios
<b>Tablero secundario tercer nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100
Núm. de polos	24
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	5 de 1x15 amperios 11 de 1x20 amperios 3 de 1x30 amperios 1 de 1x40 amperios

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXI. Tableros auxiliares primer nivel del edificio S6**

Núm. de circuito	Voltaje (volts)	Protección (amperios)
Tablero auxiliar núm. 1		
Circuito 1	120	1*30
Circuito 2	120	1*30
Tablero auxiliar núm. 2		
Circuito 1	120	1*20
Tablero auxiliar núm. 3		
Circuito 1	208	2*40
Tablero auxiliar núm. 4		
Circuito 1	208	3*30
Circuito 2	120	1*20
Circuito 3	120	1*3
Tablero auxiliar núm. 5		
Circuito 1	120	1*20
Circuito 2	120	1*20

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXII. Tableros auxiliares tercer nivel del edificio S6**

Núm. de circuito	Voltaje (volts)	Protección (amperios)
Tablero auxiliar núm. 1		
Circuito 1	120	1*30
Tablero auxiliar núm. 2		
Circuito 1	120	1*20
Tablero auxiliar núm. 3		
Circuito 1	120	1*20
Circuito 2	120	1*20

Fuente: elaboración propia.

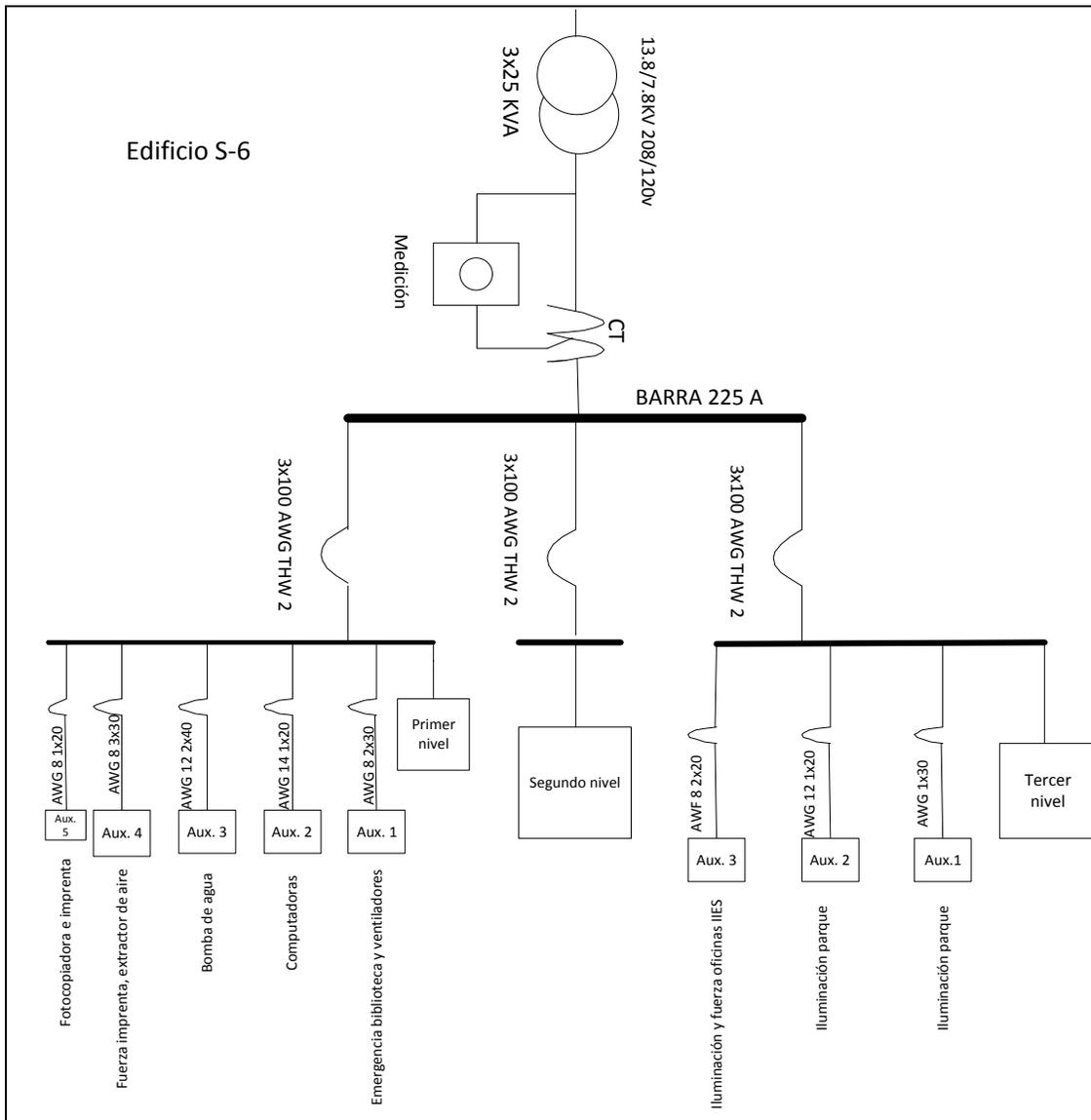
### **3.1.2.3. Tipos de cargas del edificio S6**

En gran parte la carga instalada le corresponde a computadoras de escritorio y lámparas fluorescentes tipo balastro, como también ventiladores tipo pedestal, cuenta con una bomba de agua para abastecer a todo el edificio, máquina para el funcionamiento de la imprenta y una serie de circuitos para fuerza y abastecer las necesidades eléctricas para uso del edificio.

### 3.1.2.4. Diagrama unifilar del edificio S6

A continuación se presenta el diagrama unifilar del edificio S6.

Figura 1. Diagrama unifilar del edificio S6



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

### 3.2. Iluminación del edificio S6

Todo sistema de iluminación artificial debe ser capaz de producir luz de un modo eficaz, es decir, produciendo una aceptable cantidad de flujo luminoso, los dispositivos de iluminación son conocidos como lámparas, las más comunes en iluminaciones interiores son de la línea incandescente, fluorescente y led.

#### 3.2.1. Características de las luminarias del edificio S6

Las luminarias instaladas en los ambientes interiores como salones, bibliotecas, servicios sanitarios y la mayoría de las oficinas son luminarias con dos lámparas fluorescente de 40 watts cada una tipo T-8, sin difusor, la fluorescente es conocida como lámpara de descarga funciona con balastro que transforma el voltaje a un nivel más alto, posee mayor vida útil y con menos perdidas en forma de calor.

#### 3.2.2. Medición del nivel de iluminación del edificio S6

Para la medición del nivel de iluminación de los diferentes ambientes del edificio, se utilizó un luxómetro para la toma de muestreo de las distintas áreas para obtener el nivel de iluminación.

Tabla XXIII. Nivel de iluminación actual del edificio S6

Área	Medición lux	Colores ambiente			Dimensiones		
		Techo	Piso	Pared	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Primer Nivel							
Entrada principal	89	gris	gris	crema	9,00	5,00	3,00
Salón 104	240	gris	gris	crema	14,0	8,50	3,00
Salón 105	230	gris	gris	crema	18,0	8,50	3,00
Cafetería	210	Gris	gris	crema	8,80	8,80	3,00

Continuación de la tabla XXIII.

Imprenta	125	gris	gris	verde	8,80	5,20	3,00
Sanitarios	50	blanco	gris	gris	4,30	2,50	3,00
Biblioteca	180	Blanco	gris	azul	36,0	8,8	3,00
CEDOCCEE	128	Blanco	Gris	Azul	8,80	5,20	3,00
Entrada principal 2	132	Gris	Gris	Crema	9,00	3,40	3,00
Pasillo norte	89	Gris	Gris	Crema	12,5	2,50	3,00
Pasillo oeste	89	Gris	Gris	Crema	27,0	2,50	3,00
Gradas oeste	32	Gris	Gris	Crema	5,30	5,00	3,00
Gradas este	32	Gris	Gris	Crema	5,00	4,30	3,00
<b>Segundo nivel</b>							
Gradas oeste	35	Gris	Gris	Crema	5,30	5,00	3,00
Gradas este	35	Gris	Gris	Crema	5,00	4,30	3,00
Salón 201, 207	222	Gris	Gris	Crema	10,7	8,70	3,00
Salón 202, 206	257	Gris	Gris	Crema	10,6	10,6	3,00
Salón 208, 212	257	Gris	Gris	Crema	10,6	10,6	3,00
Salón 203, 204, 205	219	Gris	Gris	Crema	8,80	7,80	3,00
Salón 209, 210, 211	219	Gris	Gris	Crema	8,80	7,80	3,00
Salón 212	215	Gris	Gris	Crema	8,80	3,40	3,00
Pasillo norte	86	Gris	Gris	Crema	18,0	2,50	3,00
Pasillo este	86	Gris	Gris	Crema	27,0	2,50	3,00
Cubículos	184	Gris	Gris	Crema	2,50	2,50	3,00
Sanitarios	50	Blanco	Gris	Gris	4,30	3,30	3,00
<b>Tercer nivel</b>							
Salón 309	225	Gris	Gris	Crema	10,6	8,80	3,00
Oficina 310	220	Gris	Gris	Celeste	10,6	10,60	3,00
Oficina 311, 312, 313	214	Gris	Gris	Crema	10,6	10,60	3,00
Oficina 314	221	Gris	Gris	Crema	8,80	7,80	3,00
Auditórium	221	Gris	Gris	Crema	8,80	7,80	3,00
Sanitarios	50	Blanco	Gris	Gris	4,30	3,30	3,00
Biblioteca	192	Gris	Gris	Crema	8,80	7,80	3,00
IIES	238	Gris	Gris	Verde	21,4	19,30	3,00
EPS	215	Gris	Gris	Crema	8,80	3,40	3,00
Cubículos norte	186	Gris	Gris	Verde	2,50	2,50	3,00
Cubículos sur	192	Gris	Gris	Crema	2,50	2,50	3,00
Pasillo norte	89	Gris	Gris	Crema	18,0	2,50	3,00
Pasillo sur	89	Gris	Gris	Crema	27,0	2,50	3,00

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Bienestar Estudiantil**

El edificio de Bienestar Estudiantil actualmente es parte de la Escuela de Ciencias de la Comunicación y también forma parte del departamento de Orientación Vocacional para los nuevos aspirantes a la casa de estudio superior, tiene más de treinta años de estar en funcionamiento, fue construido para abastecer la demanda de salones de clases como también se situaron una serie de oficinas administrativas.

#### **3.3.1. Alimentadores del edificio de Bienestar Estudiantil**

El edificio cuenta con dos entradas principales, en la entrada oeste del primer nivel dentro de una caseta se puede localizar el tablero de distribución principal, de ese tablero de derivan los circuitos de distribución para cada uno de los tres niveles del edificio, la característica del servicio es un sistema trifásico de cuatro conductores tipo AWG THW calibre número 350 MCM conectado en delta-estrella montado en un poste de concreto que está ubicado frente a la entrada principal del edificio, por el tipo de conexión el banco de transformación proporciona un voltaje nominal en el secundario de 120/208v.

##### **3.3.1.1. Conductores del edificio de Bienestar Estudiantil**

Actualmente el edificio es alimentado por un sistema trifásico de cuatro hilos para alimentar el tablero principal, la alimentación para los tableros secundarios se realiza del tablero principal, con características siguientes, alimentadores trifásicos de cuatro hilos, todos los conductores son tipo THW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 75 °C.

**Tabla XXIV. Calibre de conductores del edificio de Bienestar Estudiantil**

<b>Núm.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Voltaje (Volts)</b>	<b>Conductor THW</b>
Principal	Acometida principal	208	350 MCM
Circuito 1	Alimentación primer nivel	208	3/0 MCM
Circuito 2	Alimentación Segundo nivel	208	3/0 MCM
Circuito 3	Alimentación Tercer nivel	208	3/0 MCM

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1.2. Tipos de tableros del edificio de Bienestar Estudiantil**

Se cuenta con un tablero principal con barras adecuadas para la capacidad de carga de consumo del edificio, el tablero principal cuenta con un interruptor general con capacidad de 400 amperios, realizando un inspección visual los tableros se encuentran en buen estado, existe un tablero secundario de distribución por cada nivel, encargada de alimentar las cargas conectadas y alimentar a los tableros auxiliares.

**Tabla XXV. Tablero principal del edificio del edificio de Bienestar Estudiantil**

Capacidad de barra	400 amperios
Núm. de polos	8
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	4 de 3*100 amperios

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Carga actual y disponibilidad del tablero principal del edificio de Bienestar Estudiantil**

		<b>Uso amp.</b>	<b>Disponible amp.</b>	<b>% Uso</b>	<b>% disponible</b>
Conductores 350 KCM 310 Amp.	Fase A	67,8	242,17	21,88	78,12
	Fase B	58,35	251,65	18,82	81,18
	Fase C	87,5	222,5	28,22	71,78
Barras 400 Amp.		71,23	328,77	17,81	82,19
Núm. de fases	3				
Interruptor principal 400 Amp.	Fase A	67,83	332,17	16,96	83,04
	Fase B	58,35	341,65	14,59	85,41
	Fase C	87,5	312,5	21,88	78,12
Potencias					
L1	24 436,88				
L2	21 021,55				
L3	31 523,32				
Potencia total	76 981,75				
voltaje	208				

Fuente: elaboración propia.

Según los datos calculados con corriente nominal, en ningún momento se esfuerzan los conductores, ya que el porcentaje de carga conectada es bajo, como se establece que un conductor debe transportar solo el 60 % de su carga nominal para que no sufra calentamiento y no pierda sus propiedades de aislamiento, la capacidad del interruptor principal y la barra no sufren ningún tipo de esfuerzo.

Tabla XXVII. **Cálculos realizados con corrientes pico del edificio de Bienestar Estudiantil**

		Uso Amp.	Disponible Amp.	% Uso	% disponible
Conductores 350 KCM 310 amp.	Fase A	112,04	197,96	36,14	63,86
	Fase B	159,81	150,19	51,55	48,45
	Fase C	139,74	170,26	45,08	54,92
Barras 400 amp.		137,20	262,8	34,3	65,7
Núm. de fases	3				
Interruptor principal 400 amp.	Fase A	112,04	287,96	28,01	71,99
	Fase B	159,81	240,19	39,95	60,05
	Fase C	139,74	260,26	34,93	65,07
Potencias					
L1	40 364,27				
L2	57 574,20				
L3	50 343,65				
Potencia total	148 282,12				
Voltaje	208				

Fuente: elaboración propia.

Según los cálculos realizados con los valores de corrientes pico, los conductores no llegan a sufrir ningún tipo de esfuerzo, por ende mantiene su aislamiento eléctrico, ya que solo se está utilizando el 50 % de la capacidad del conductor, el interruptor principal y la barra no sufren ningún tipo de esfuerzo eléctrico.

### **3.3.1.3. Tipos de cargas del edificio de Bienestar Estudiantil**

La mayor demanda de energía se debe a causa de los equipos basados en electrónica ya que cada vez son más utilizados en instalaciones eléctricas, industriales, comerciales y residenciales donde el incremento del uso de equipos electrónicos domésticos basados en electrónica, en especial las computadoras personales, por ende el tipo de carga en un gran porcentaje

utilizado en el edificio es carga no lineal compuestas por semiconductores y en un bajo porcentaje en carga lineal de carácter resistivo.

### **3.3.2. Circuitos ramales del edificio de Bienestar Estudiantil**

Actualmente cuenta con circuitos ramales para alimentar las diferentes cargas finales, se derivan circuitos para alimentar el sistema de iluminación, los circuitos de fuerza que alimenta los circuitos para computadoras utilizadas por la División de Orientación Vocacional y alimentar los equipos utilizados por la Unidad de Salud ubicada en el edificio, como también la bomba de agua que se encarga de distribuir el servicio para los diferentes niveles del edificio.

#### **3.3.2.1. Conductores del edificio de Bienestar Estudiantil**

Los conductores utilizados para la alimentación de los diferentes ramales son de diferentes calibres según la corriente demandada por la carga puntual o un conjunto de cargas distribuidas, todos los conductores son tipo TW AGW y la capacidad de conducción indicada está dada para una temperatura de operación de 60 °C.

**Tabla XXVIII. Conductores en tableros secundarios del edificio de Bienestar Estudiantil**

<b>Núm. circuito</b>	<b>Conductor TW</b>	<b>Capacidad de conducción (amperios)</b>
Tablero Secundario del primer nivel		
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,27,28,29,30,31,32,	14	15
12,13,14,15,33,34,35,36,37,38,39,40,41	12	20
16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	10	30

Continuación de la tabla XXVIII.

Tablero secundario del segundo nivel		
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,24,25,26,27,28,29,30	14	15
16,17,18,19,20,21,22,23,31,32,33,34,35	10	30
Tablero secundario del tercer nivel		
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14	14	15
15,16,17,18,19,20,21,22,23	12	20
24,25,26,27,28,29,30,31	10	30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Conductores tableros auxiliares del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. circuito	Conductor TW	Capacidad de conducción (amperios)
Tablero auxiliar núm. 1 primer nivel		
1,2,3,	12	20
4,6	8	40
Tablero auxiliar núm. 1 tercer nivel		
1,2,3,4,5,6,7	12	20
Tablero auxiliar núm. 2 tercer nivel		
1,2	12	20
Tablero auxiliar núm. 3 tercer nivel		
1,2,3,4,5,6,7,8,	12	20
Tablero auxiliar núm. 4 tercer nivel		
1,2,3,4	12	20

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2.2. Tipos de tableros del edificio de Bienestar estudiantil

Los tableros secundarios de distribución tienen una alimentación directa desde el tablero principal, Actualmente presenta un desorden en la colocación de los conductores dentro del tablero, además existen derivaciones hacia

tableros auxiliares desde sus bornes, todos los interruptores y las barras se encuentran en buen estado. Pero por las readecuación de los salones en oficinas se han instalados varios tableros auxiliares, todos estos tableros contienen flipones que protegen los circuitos eléctricos.

Tabla XXX. **Especificación de los tableros secundarios del edificio de Bienestar Estudiantil**

<b>Tablero secundario primer nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100 amperios
Núm. de polos	42
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	16 de 1x15 amperios 14 de 1x20 amperios 10 de 1x30 amperios 1 de 1x40 amperios
<b>Tablero secundario segundo nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100 amperios
Núm. de polos	42
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	22 de 1x15 amperios 14 de 1x20 amperios 1 de 1x30 amperios
<b>Tablero secundario tercer nivel</b>	
Capacidad de barra	3x100
Núm. de polos	42
Tensión nominal	120/208
Núm. de fases	Trifásico
Con los siguientes ramales	14 de 1x15 amperios 10 de 1x20 amperios 8 de 1x30 amperios 1 de 1x40 amperios

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Tableros auxiliares del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. de circuito	Voltaje (volts)	Protección (amperios)
<b>Primer Nivel</b>		
Tablero auxiliar núm. 1		
Circuito 1	120	1*20
Circuito 2	120	1*20
Circuito 3	120	1*20
Circuito 4	208	2*50
<b>Tercer nivel</b>		
Tablero auxiliar núm. 1		
Circuito 1	120	1*20
Circuito 2	120	1*20

Continuación de la tabla XXXI.

<b>Tablero auxiliar núm. 2</b>		
Circuito 1	208	2*40
Circuito 2	120	1*20
Circuito 3	120	1*20
<b>Tablero auxiliar núm. 3</b>		
Circuito 1	208	2*30
Circuito 2	120	1*20
Circuito 3	120	1*30
Circuito 4	208	2*40

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2.3. Tipos de cargas del edificio de Bienestar Estudiantil

La carga existente en el edificio del Bienestar Estudiantil esta agrupada en circuitos de iluminación y fuerza. Se puede considerar que la carga instalada dentro del edificio es de tipo inductivo, ya que en un alto porcentaje se tienen con lámparas fluorescentes de baja descarga, las cuales tienen una bobina inductiva o reactancia. Dentro del equipo que podemos considerar de carácter resistivo tenemos los secadores de manos instalados en los baños de cada nivel.

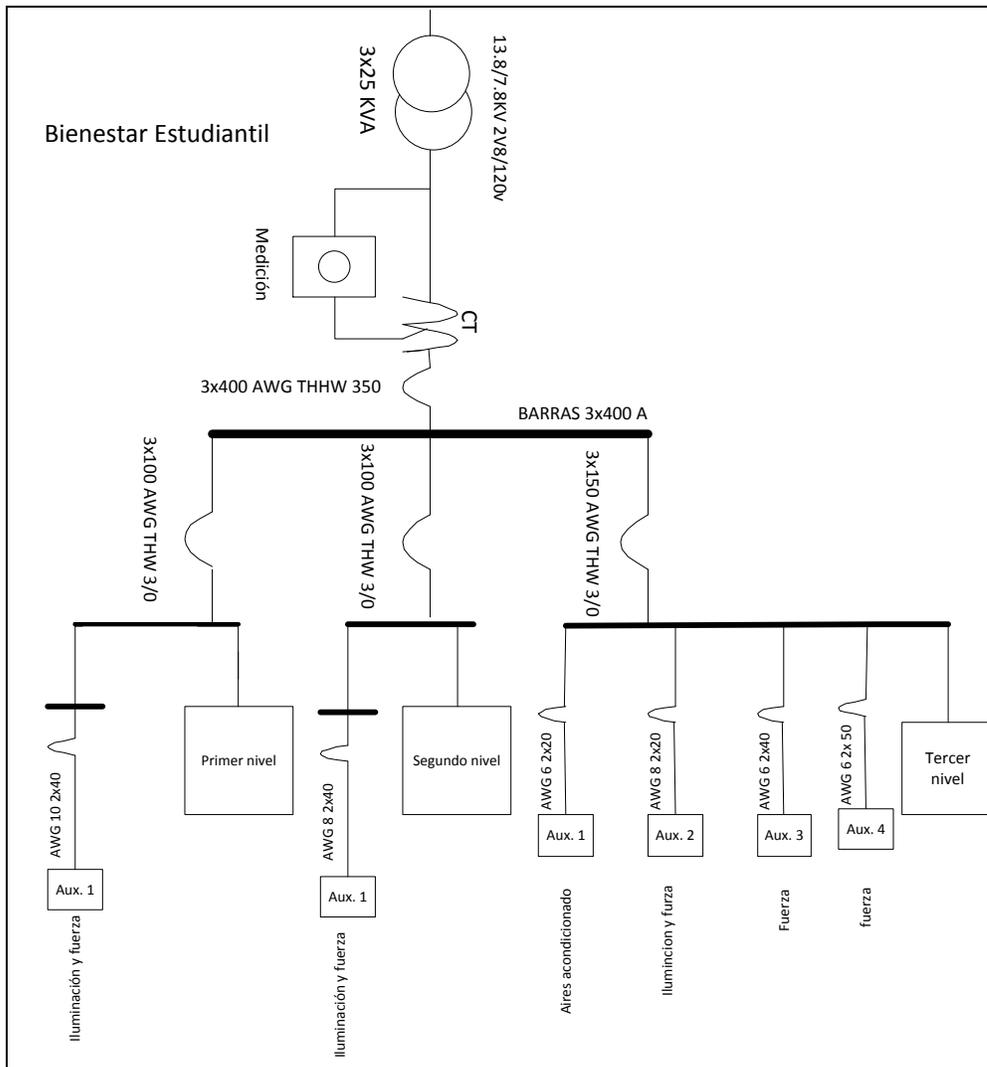
Los circuitos de iluminación están constituidos por las luminarias que se encuentran en los distintos ambientes del edificio, así como también en los pasillos interiores y exteriores del mismo.

Por otra parte los circuitos de fuerza como los tomacorrientes actuales son de 120 voltios, los cuales se encuentran en cada uno de los ambientes de cada edificio como aulas, baños, salón de catedráticos.

#### **3.3.2.4. Diagrama unifilar del edificio de Bienestar Estudiantil**

A continuación se presenta el diagrama unifilar del edificio de Bienestar Estudiantil.

Figura 2. Diagrama unifilar del edificio de Bienestar Estudiantil



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

## **4. MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA**

### **4.1. Analizador de redes**

Los analizadores de redes son instrumentos que realizan las mediciones de los parámetros eléctricos del sistema de red, estas medidas son tomadas directamente del voltaje y la corriente o bien calcular potencia y energías activas, factor de potencia, consumos máximos y mínimos, armónicos entre otros parámetros.

#### **4.1.1. Características metrológicas**

Las características metrológicas del equipo utilizado para realizar el trabajo, corresponde a: exactitud clase A, esto significa los instrumentos pueden ser usados para aplicaciones establecidas, verificando el cumplimiento con estándares, y apegándose a los parámetros establecidos por la norma IEC 61000-4-30 clase A.

##### **4.1.11. Incerteza**

Un instrumento clase A dentro de la especificación medirá el voltaje y la corriente a la exactitud del 0,1 %, esto significa de la frecuencia de 60 Hz debe ser medida en 308 muestras por ciclo. La exactitud dependerá del método de la medida y se debe realizar a través de 10 periodos de ciclo continuos en frecuencia de 60 Hz, es decir una ventana de 240 milisegundos.

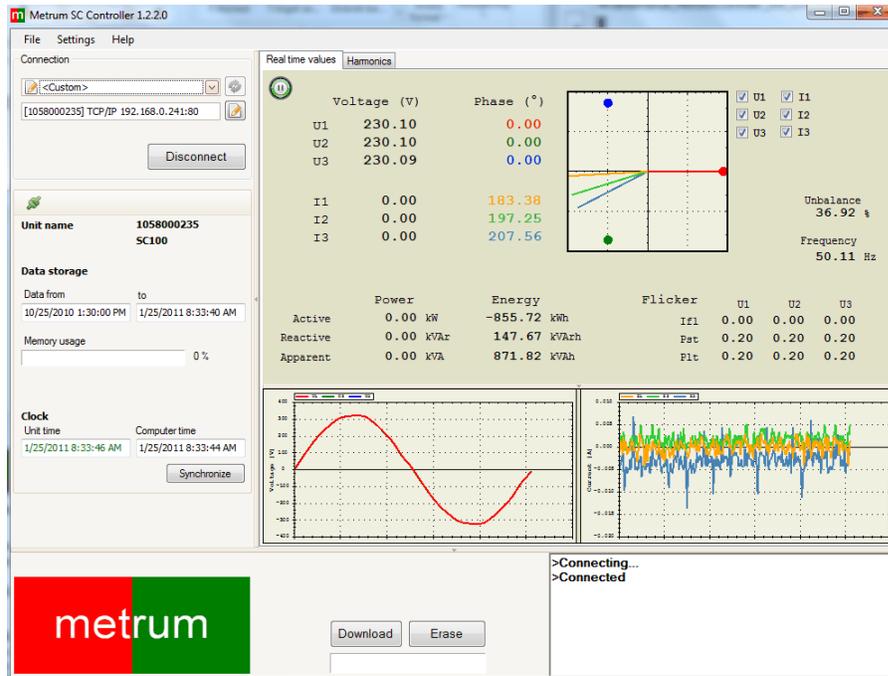
#### **4.1.1.2. Método de medición**

Generalmente este aparato se instala antes del circuito eléctrico que se desea analizar, se necesita colocar alrededor de los conductores que alimentan las cargas las pinzas o sondas que la interfaz entre la red y el equipo analizador. A partir de ese momento, cada uno de los parámetros de la red será monitoreado y sus valores almacenados en la memoria interna del aparato para ser descargado.

#### **4.1.1.3. Monitoreo de eventos**

El instrumento de medición en tiempo real, el programa muestra los valores de voltaje y corriente. También la alimentación, energía, el desequilibrio y la frecuencia son mostradas. Los valores en tiempo real se actualiza cada dos segundos en la ventana del programa, Los ángulos de fase de las fases de voltaje y corriente se muestran en un diagrama de ángulo de fase, donde cada fase tiene su propio color, es muy importante que las fases están conectados en el orden correcto para la medición de la potencia correcta.

Figura 3. Monitoreo de eventos

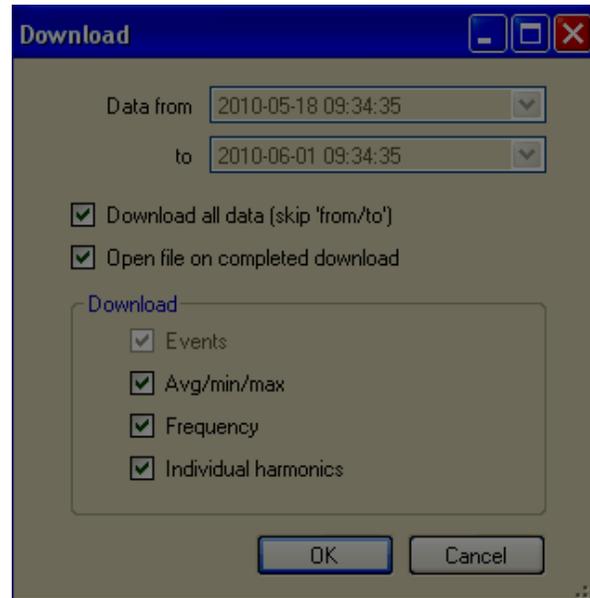


Fuente: *Monitoreo de eventos*. www.metrum.com. Consulta: 20 de septiembre de 2017.

#### 4.1.1.4. Software para extracción de datos

El SC software del controlador que se utiliza para comunicarse con el SC y los instrumentos de medida para la descarga de datos, desde el programa es posible monitorizar en tiempo real los valores de algunos parámetros de calidad de potencia, descargue los archivos de datos de medición y realizar configuraciones del instrumento.

Figura 4. **Software para extracción de datos**



Fuente: Software para extracción de datos. [www.metrum.com](http://www.metrum.com). Consulta: 28 de septiembre de 2017.

Para analizar los datos de medición tendrá que descargarlo desde el instrumento de medición en el equipo, dadas con respecto a los datos que deben ser descargados. La configuración predeterminada es descargar todos los datos.

#### **4.2. Medición de la eficiencia energética**

El requisito de seguimiento y control de la eficiencia de la energía está aumentando y se han introducido una serie de normas y regulaciones nacionales diferentes para brindar orientación sobre lo que se considera una buena calidad de energía, apeguándose a la Norma UNE EN 50160.

#### **4.2.1. Equipo de medición clase A**

El estándar IEC 61000-4-30 clase A, este estándar define los procedimientos de medida de cada parámetro de calidad de energía para obtener resultados fiables, repetibles y comparables, además determina la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos. Los fabricantes ya tienen un parámetro de referencia para diseñar según los estándares de la clase A.

##### **4.2.1.1. Incerteza**

La incertidumbre de la medida se establece en el 0,1 % del voltaje de entrada declarada, los instrumentos con certificación clase A, se pueden monitorear con seguridad y confiabilidad los eventos con incertidumbre aceptadas internacionalmente.

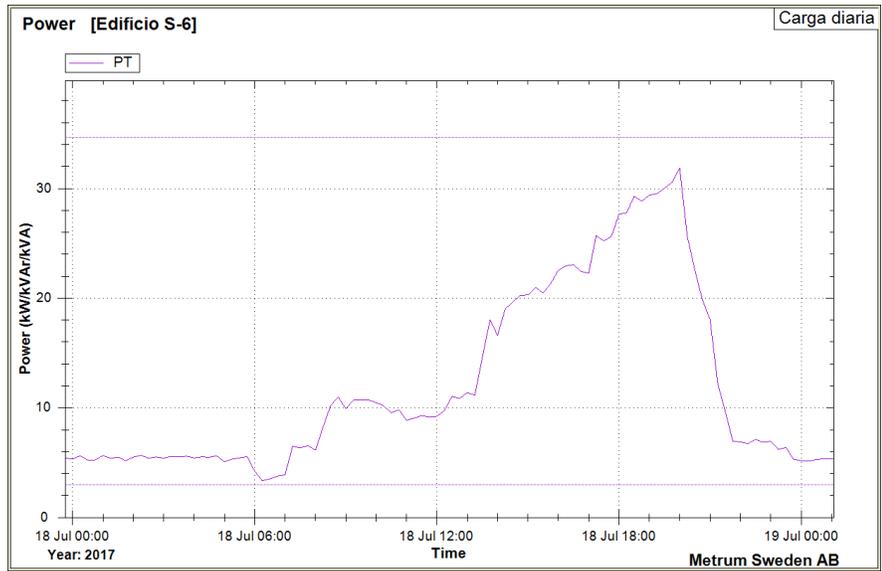
#### **4.2.2. Parámetros de medición del edificio S6**

Los eventos o parámetros de medición son los siguientes disturbios rápido y lento, tales como huecos de tensión y sobretensiones y cortas y largas interrupciones, está incluido.

##### **4.2.2.1. Curva de carga diaria del edificio S6**

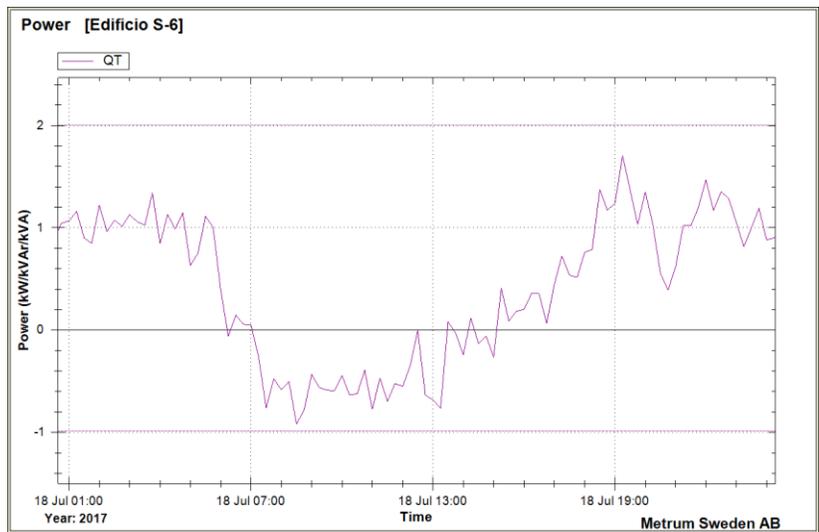
Las curvas de demanda de potencia activa y reactiva diaria del edificio S-6 que definen el comportamiento de la carga en función del tiempo a lo largo del día; se pueden observar que el período de menor demanda de potencia se da entre las 23:00 hrs. y las 08:30 horas, mientras que el período de mayor demanda está entre las 15:00 y las 21:30 horas.

Figura 5. **Curva de demanda diaria potencia activa del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Curva de demanda diaria potencia reactiva del edificio S6**

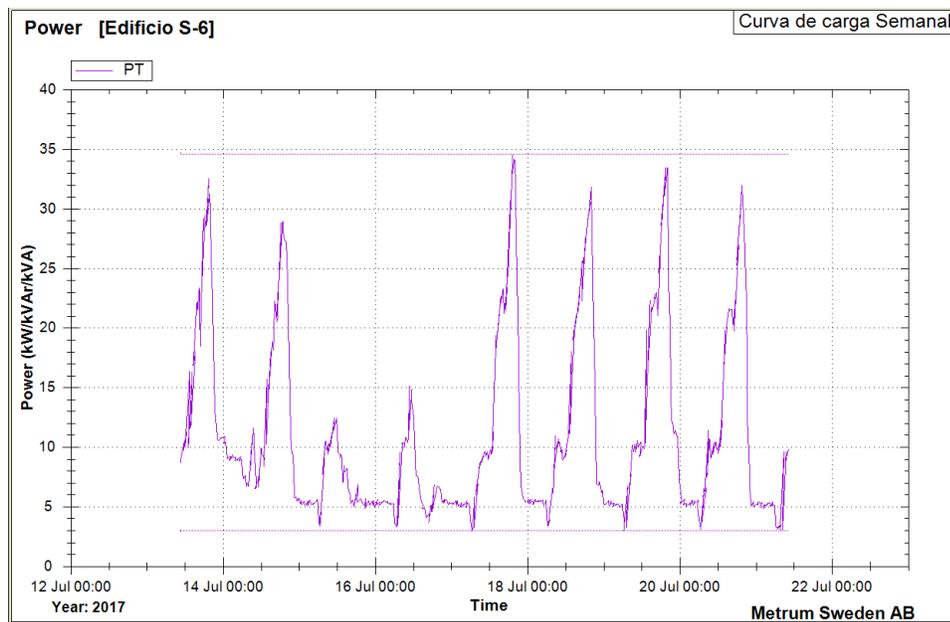


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.2. Curva de carga semanal del edificio S6

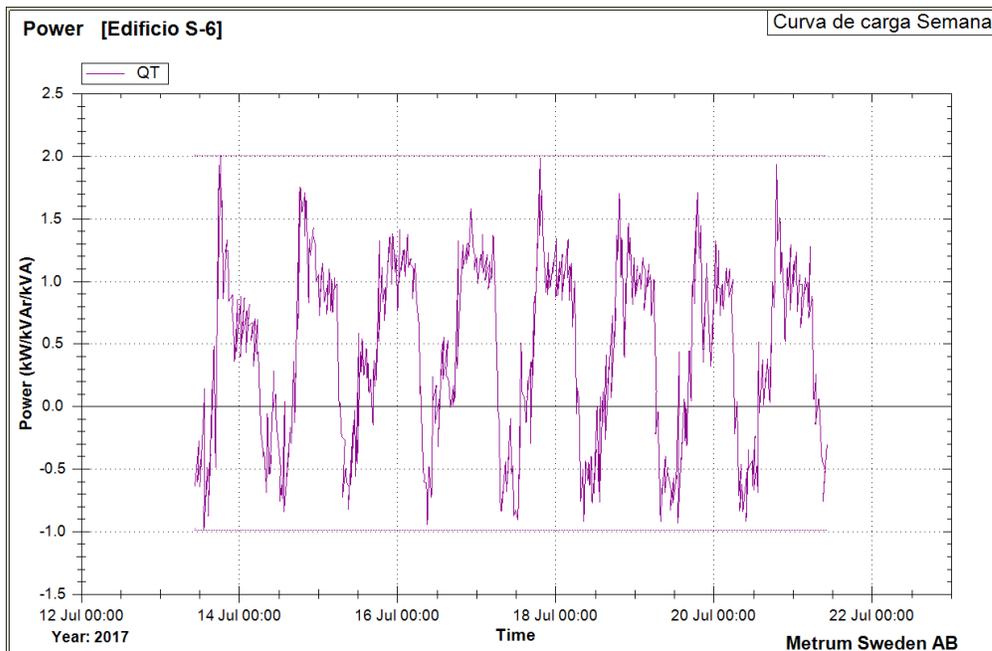
Dicha curva es muy interesante y brinda suficiente información cuando se trata de realizar un análisis más detallado en cuanto a costo de operación, ya que es una herramienta para calcular costos y pérdidas de energía.

Figura 7. Curva de carga semanal potencia activa del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Curva de carga semanal potencia reactiva del edificio S6**

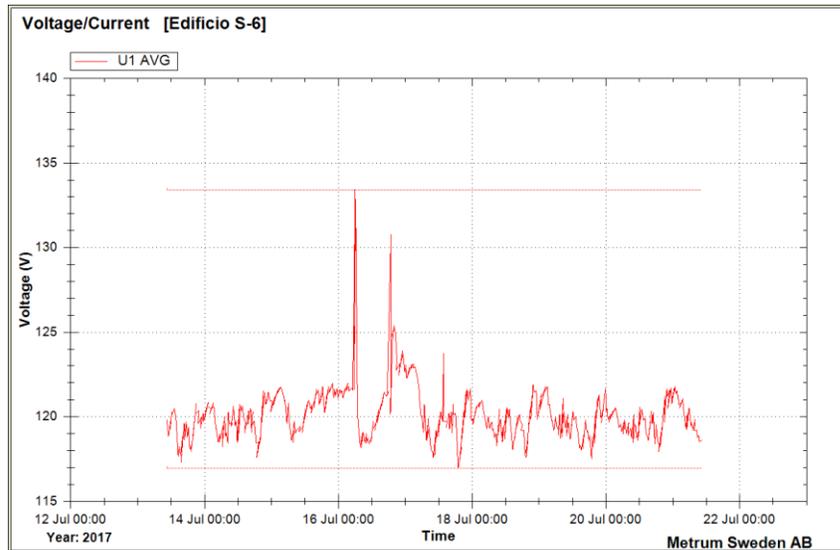


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.3. Voltajes del edificio S6

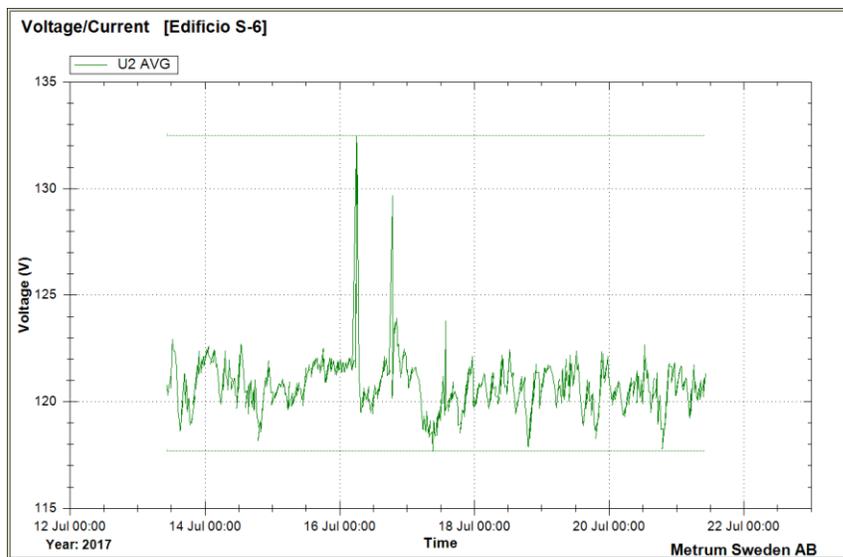
El voltaje tiene un comportamiento similar en las tres líneas a lo largo del tiempo en que como se muestra en las figuras 9 y 10, se puede observar que en la línea uno presenta un rango de variación de 117 a 132 voltios, en la línea dos el rango de variación es de 117 a 132 voltios, la línea tres presenta el mismo rango de variación de los dos líneas que es de 117 a 132 voltios, según la Normas NTSD para determinar la calidad de la energía con que se cuenta, se recurre a cálculo del índice de calidad de regulación de tensión (IRT), por los datos obtenidos esto indica que en ningún momento los valores sobrepasan este rango de tolerancia establecido.

Figura 9. Voltaje línea 1 del edificio S6



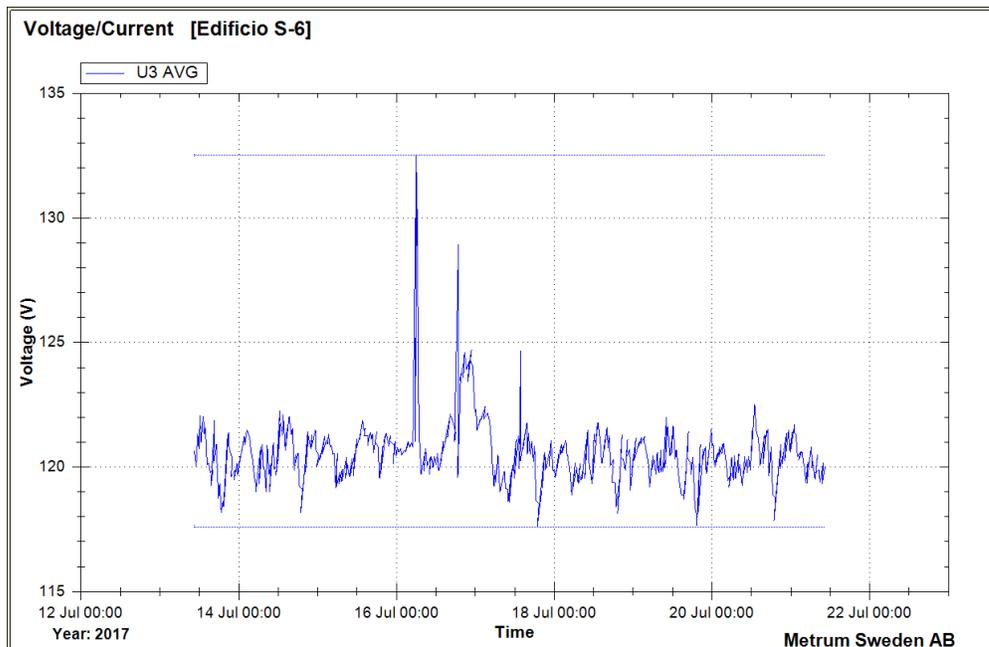
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Voltaje línea 2 del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Voltaje línea 3 del edificio S6

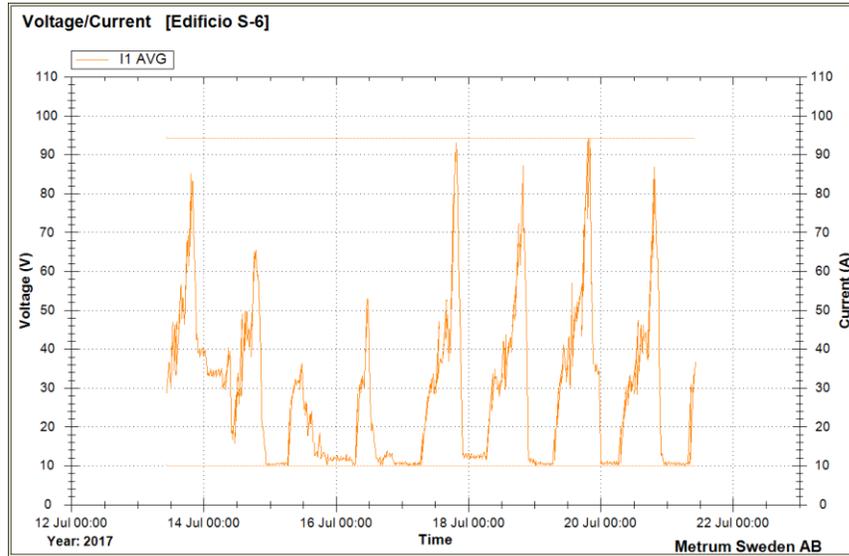


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.4. Corrientes del edificio S6

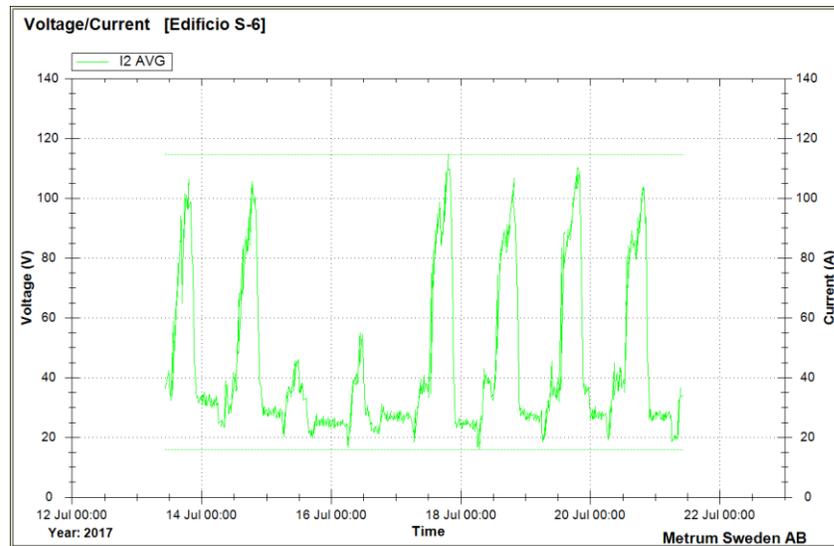
La demanda de corriente se incrementa entre las quince horas y las veintidós horas como se puede apreciar en las gráficas, el comportamiento de las tres líneas es similar esto quiere decir, que las cargas conectadas funcionan o son utilizadas al mismo tiempo, esto se debe a la buena distribución de las cargas del edificio, durante el periodo de máximo consumo se debe a que durante este período que se utiliza el 100 % de la iluminación y entran en funcionamiento todas las oficinas del tercer nivel.

Figura 12. Corriente línea 1 del edificio S6



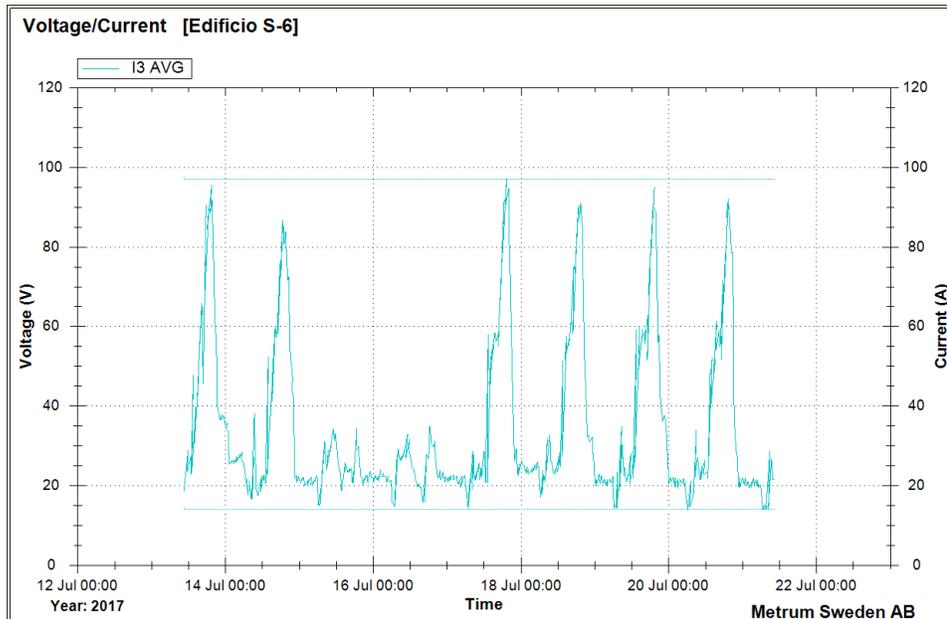
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Corriente línea 2 del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Corriente línea 3 del edificio S6



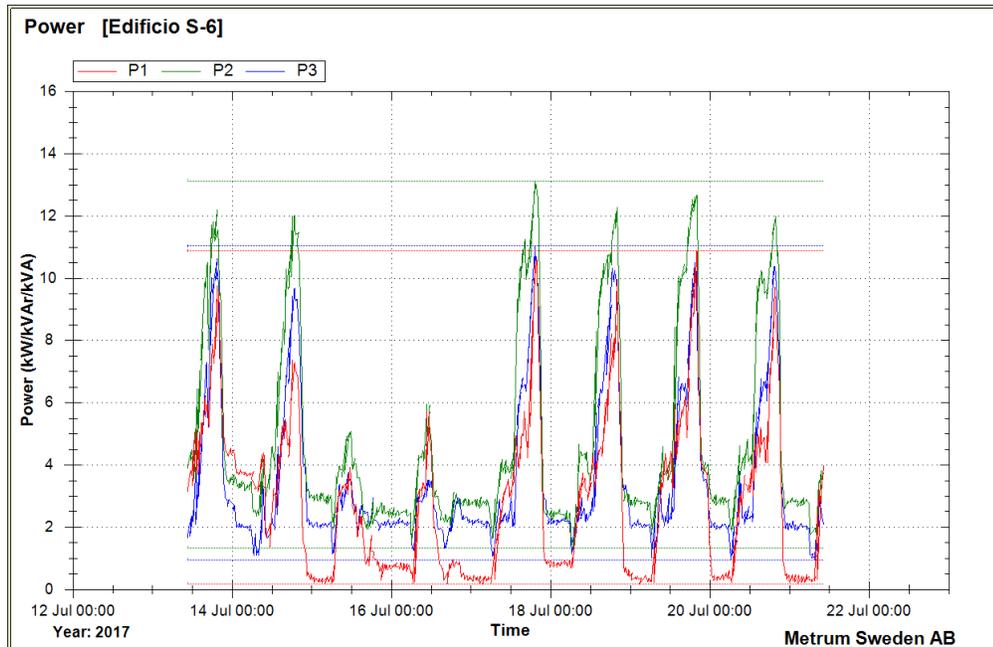
Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.5. Potencias del edificio S6

El consumo de potencia activa durante el periodo de medición es bastante similar, en las tres líneas la potencia activa crece y decrece durante los mismos períodos de tiempo, aunque con valores diferentes, ya que la carga instalada en cada línea es diferente.

La línea dos se puede apreciar que se la que se encuentra más cargada con un valor de potencia máxima de 13,1 KW, línea tres el consumo de potencia activa es similar al de la línea uno, los incrementos y decrementos durante los mismos periodos de tiempo; pero con un valor máximo de consumo de 11 KW para la línea tres y un consumo de 10,9 KW para la línea uno.

Figura 15. **Potencia activa línea1, línea 2 y línea 3 del edificio S6**

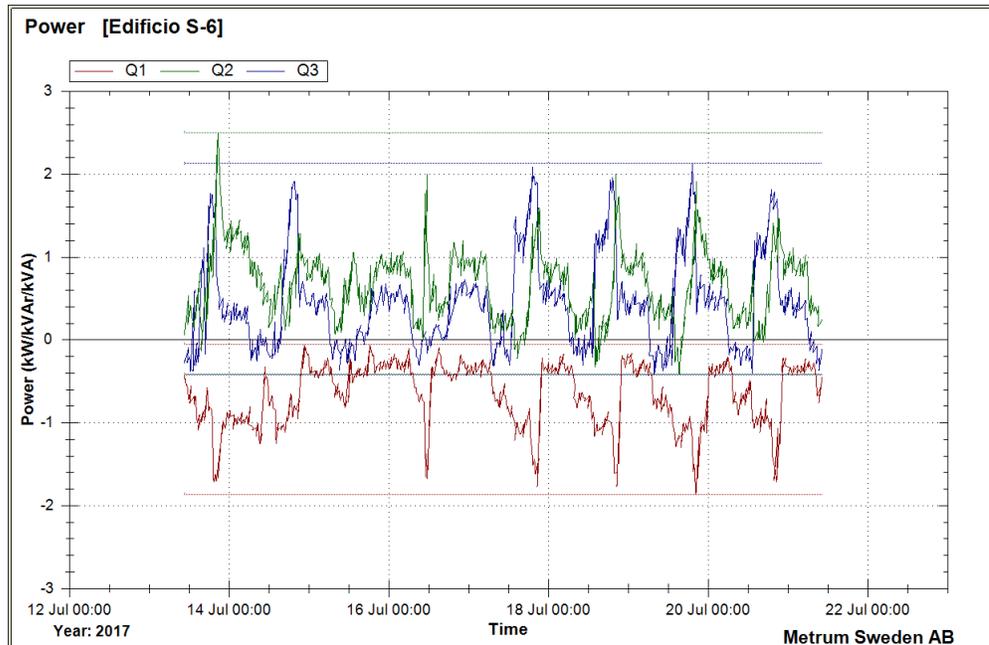


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.5.1. **Potencia reactiva del edificio S6**

El comportamiento del consumo de potencia reactiva es diferente en las tres líneas, esto indica que la carga conectada a cada una de las líneas tienen características diferentes en relación de consumo de potencia reactiva, podemos apreciar que la línea uno tiene un valor que oscilan entre -0,07 a -1,9 KVAR, mientras que la línea dos es la de mayor consumo de potencia reactiva con un valor que oscila entre -0,2 a 2,5 KVAR, la línea tres el consumo de potencia reactiva es similar al consumo de potencia activa para esa misma línea con incremento de valores que oscilan entre -0,4 a 2 KVAR

Figura 16. **Potencia reactiva línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

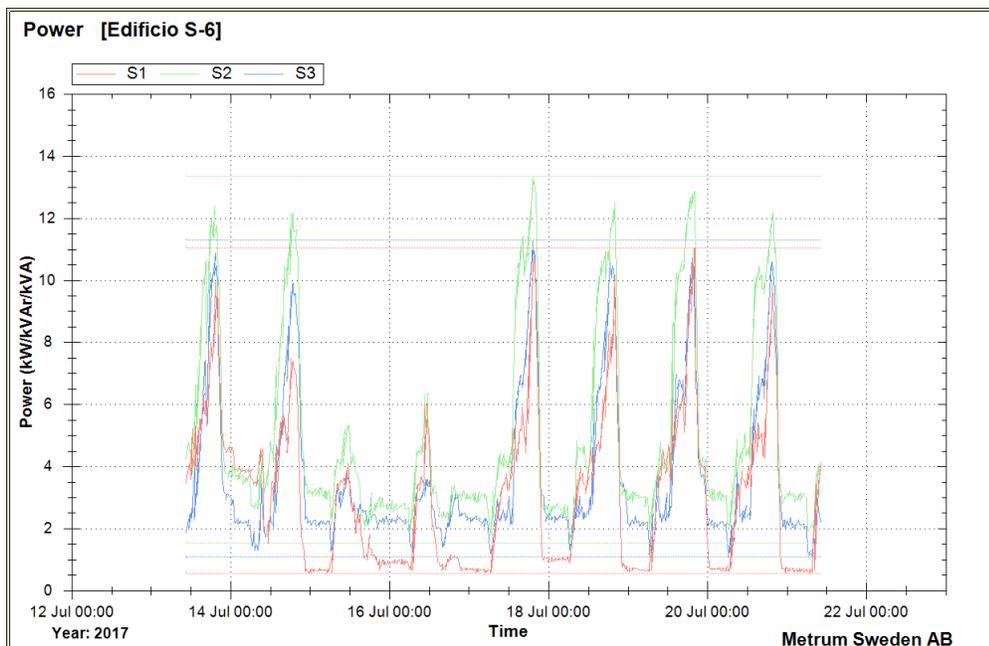
#### 4.2.2.6. **Potencia aparente del edificio S6**

La importancia de la potencia aparente consiste en que en que normalmente se utiliza para calcular la corriente nominal y de cortocircuito que circula por los conductores de las diferentes fases, la potencia aparente es la suma vectorial de las potencia activas y reactivas.

La línea uno la potencia aparente es la que tiene un gran incremento con un valor máximo de 10,7 KVA con un descenso durante la horas de la noche hasta 0,6 KVA, la línea dos con un comportamiento similar a la línea uno, toma el valor máximo de 13,35 KVA y un mínimo de 1,8 KVA, el valor de la línea tres

es relativamente similar a las otras líneas que toma el valor máximo de 11,33 KVA y un valor mínimo de 1,22 KVA.

Figura 17. **Potencia aparente línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6**

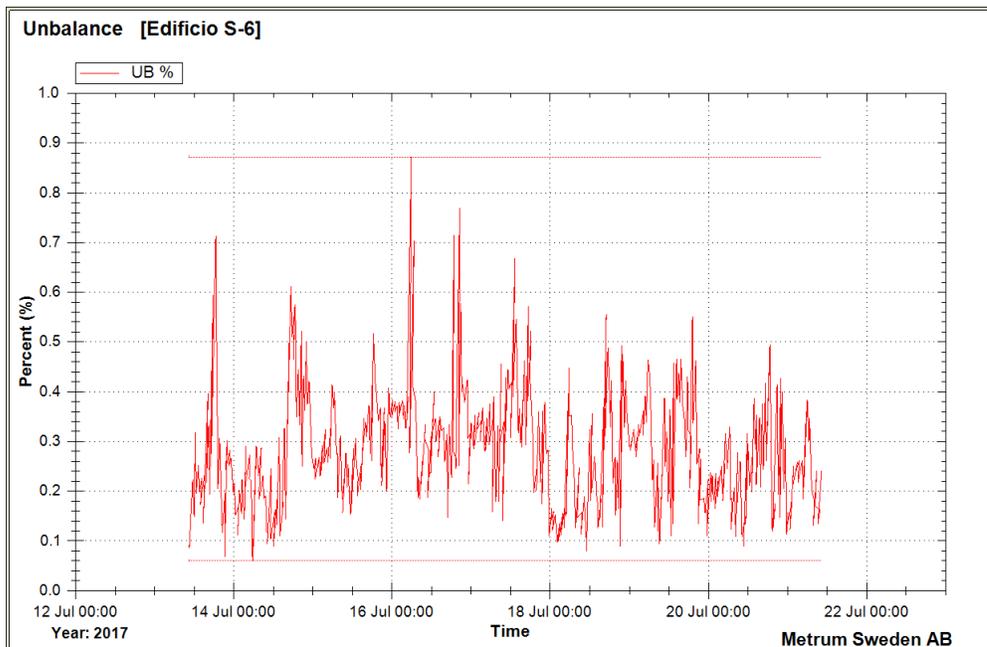


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.7. **Desbalance del edificio S6**

El desbalance es uno de los eventos importantes en el análisis del sistema eléctrico, esto permite identificar una mala distribución de la carga en cada una de las fases. La Norma de Transmisión y Servicio de Distribución recomienda un índice de calidad del desbalance del voltaje, esto es utilizado para evaluar el desbalance de voltaje en los servicios trifásicos, la tolerancia permitida recomendada por la norma es aplicable al distribuidor sobre el desbalance del voltaje en los puntos de entrega de energía es del 3 %.

Figura 18. **Desbalance eléctrico del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

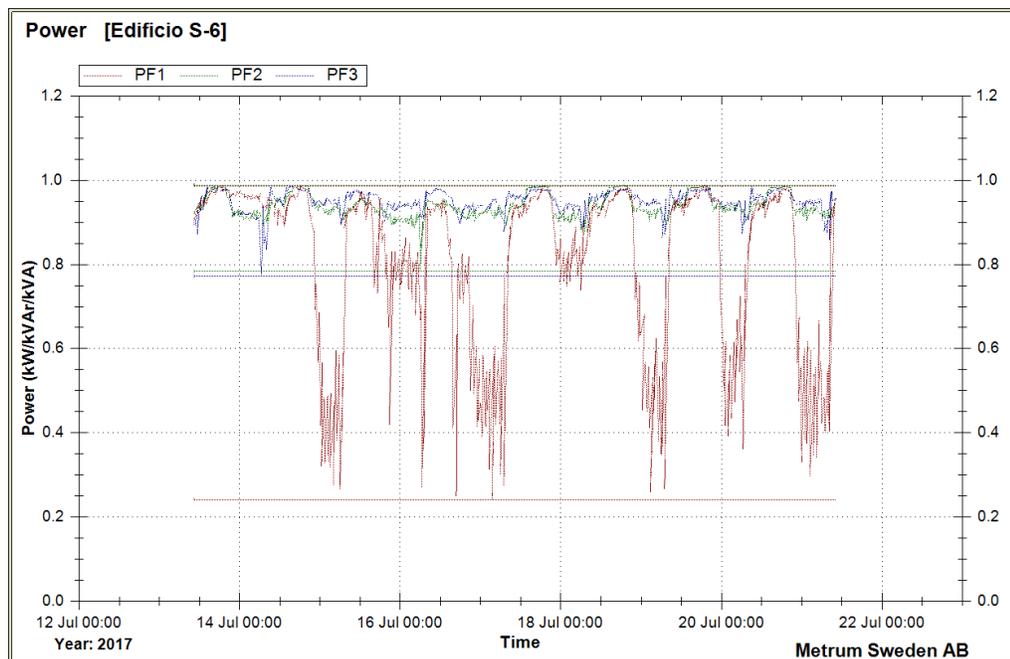
#### **4.2.2.8. Factor de potencia del edificio S6**

Las recomendaciones que rige la Norma NTSD dice, que en ningún caso el factor de potencia del usuario debe de ser menor al 85 % se puede apreciar que durante el periodo de medición muestra que en un alto porcentaje la carga está en funcionamiento, y el factor de potencia en las fases permanece dentro del rango establecido por la Normas Técnicas de Servicio de Distribución.

El factor de potencia de la línea uno como se aprecia tiene una buena estabilidad de 0,99 durante mas del 80 % del periodo de medición, la línea dos tiene variaciones en ciertos horarios sin embargo siempre el valor se mantiene dentro del rango establecido, este permanece alrededor de 0,95, el valor del

factor de potencia de la línea tres su comportamiento es similar al valor de la línea uno, con valor de 0,98. Durante los periodos de bajo consumo de energía se produce un desbalance de carga en las líneas lo que provoca que el factor de potencia individual de las líneas este por debajo del límite permitido.

Figura 19. **Factor de potencia, línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

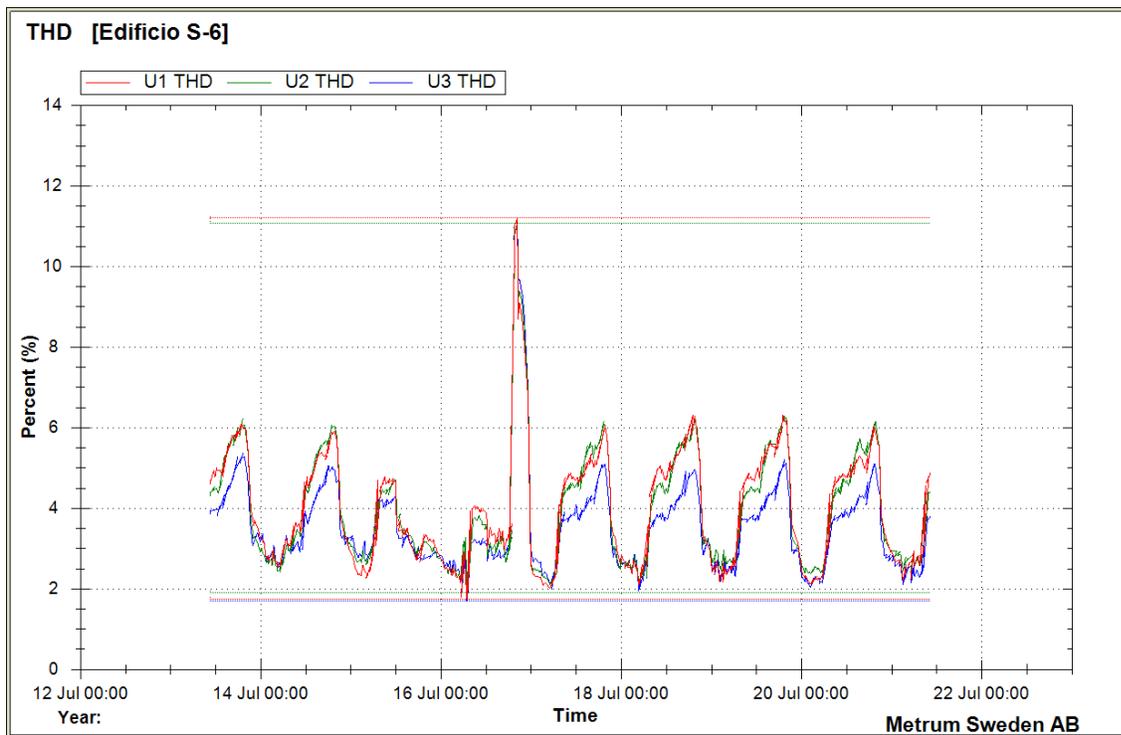
#### 4.2.2.9. **Distorsión armónica del edificio S6**

A continuación, se presenta la distorsión armónica del análisis del THD para el voltaje.

#### 4.2.2.9.1. Análisis del THD para el voltaje del edificio S6

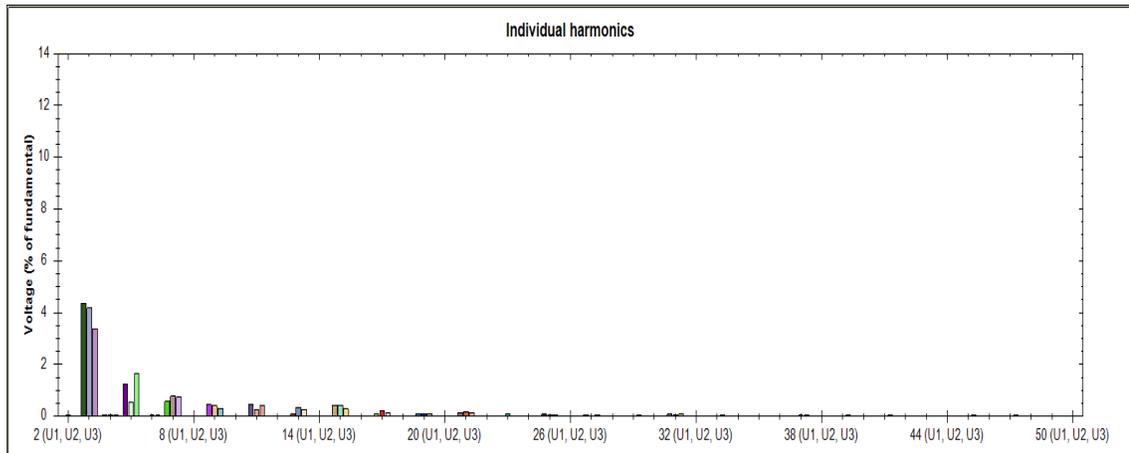
La Norma NTSD establece que el porcentaje de distorsión en el voltaje no debe ser mayor de 8 %. Se puede apreciar en la gráfica que el valor se mantiene en 6 % esto quiere decir que está dentro del valor que establece la norma.

Figura 20. Distorsión armónica en el voltaje del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Armónicas individual del edificio S6**

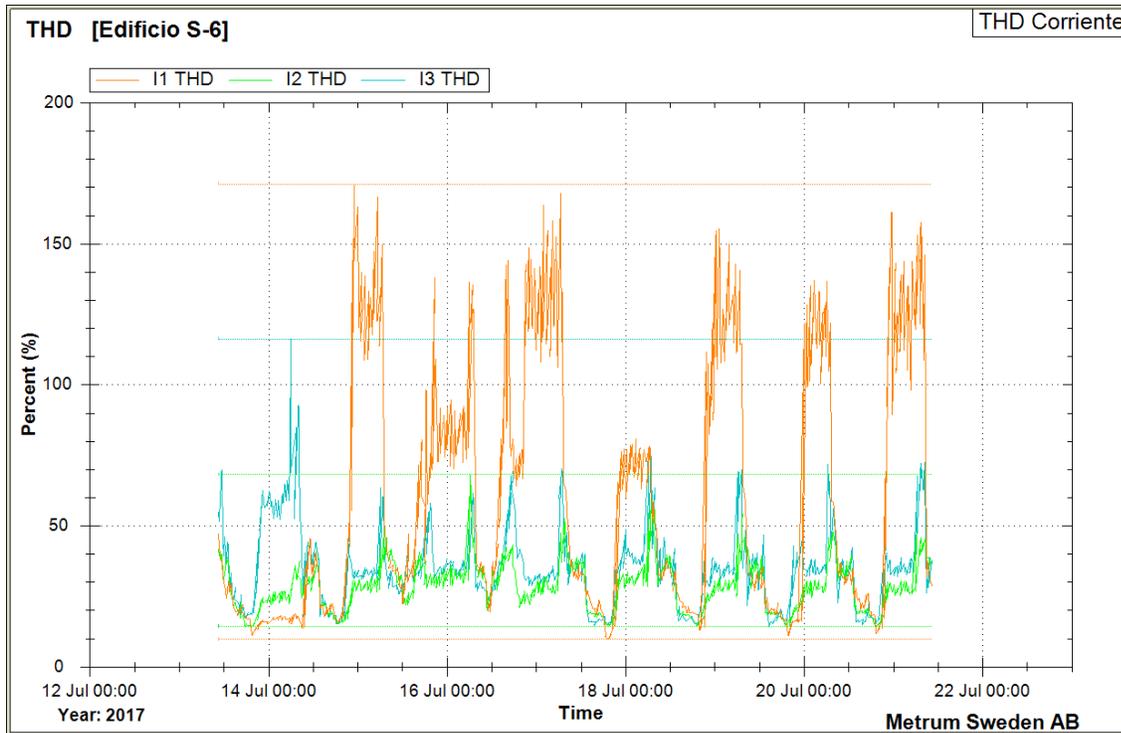


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.9.2. **Análisis del THD para la corriente del edificio S6**

La Norma de Transmisión y Servicio de Distribución indica que el porcentaje de distorsión armónica en la corriente no debe ser mayor de 20 %, en la gráfica se puede observar que para el valor de la distorsión armónica total THD en un tiempo corto supera el valor establecido por la norma, las tres líneas obtuvieron hasta un valor de 171 %.

Figura 22. THD para la corriente del edificio S6

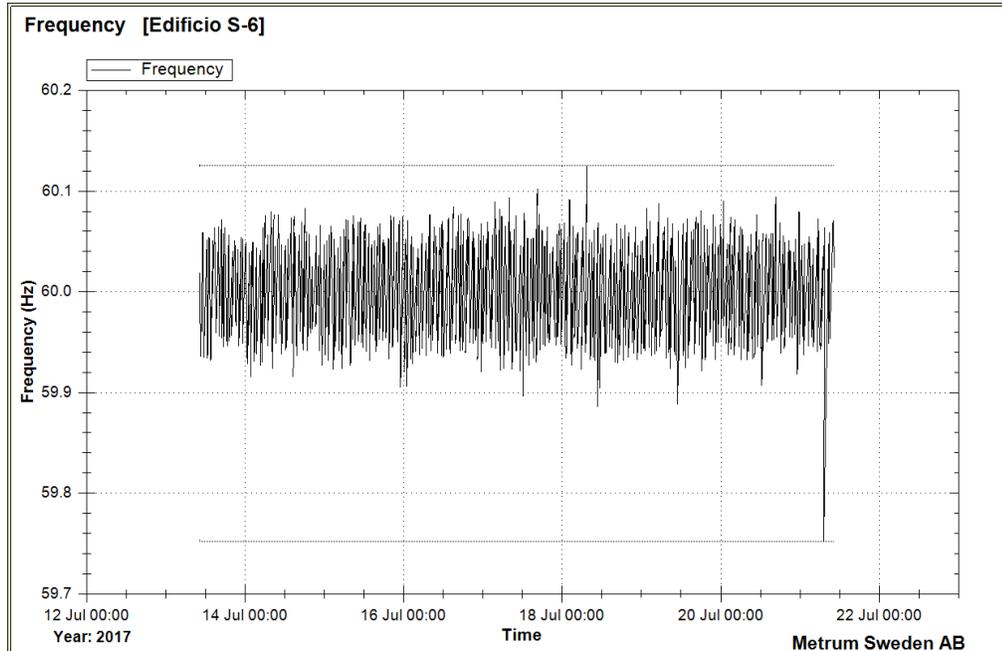


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.10. Frecuencia del edificio S6

Durante el periodo de medición la frecuencia de la red eléctrica se mantuvo entre el parámetro de 59,8 Hz y 60,1 Hz esto indica que se encuentra dentro de lo que recomienda la norma, este valor es de suma importancia ya que la variación relativamente alta puede ocasionar daños serios a los equipos electrónicos.

Figura 23. Frecuencia del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.11. Análisis *flicker* del edificio S6

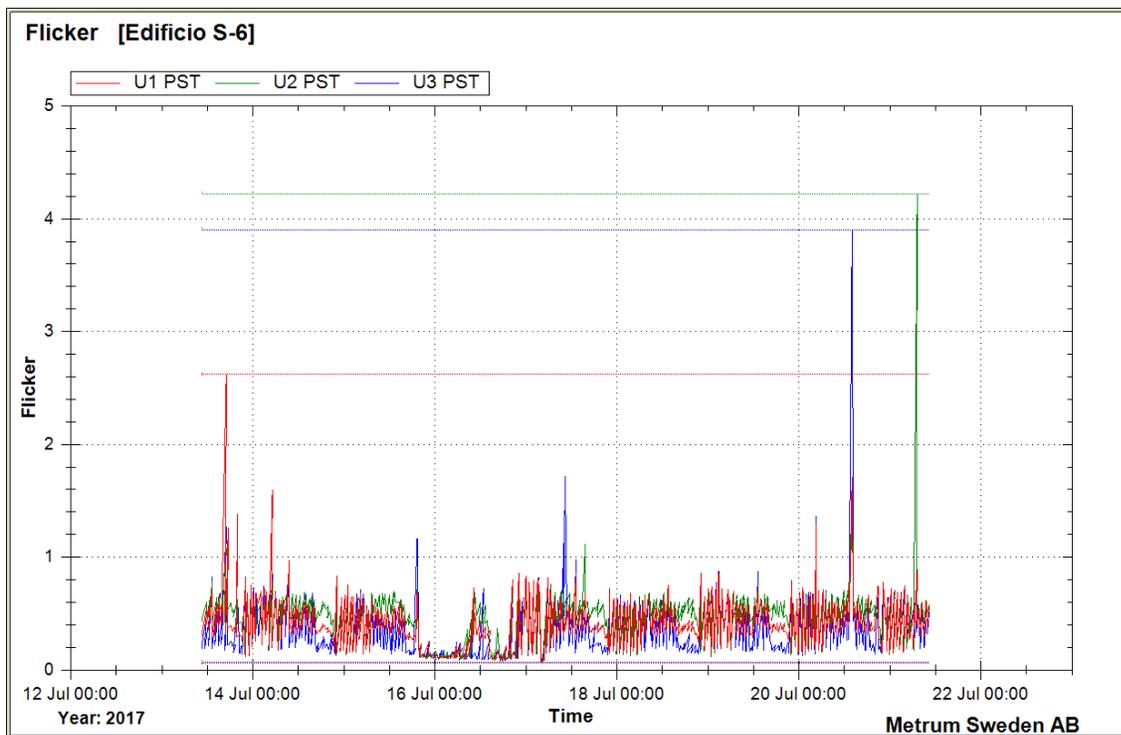
A continuación, se presenta el análisis *flicker*.

##### 4.2.2.11.1. *Flicker* según el índice Pst del edificio S6

La norma recomienda que el índice de severidad de *flicker* para intervalos cortos es menor a 1, se puede apreciar en la gráfica que el resultado obtenido está dentro de lo permitido. El índice Pst significa que se evalúa la severidad del *flicker* en periodos cortos de tiempo con intervalos de 10 minutos de

observación, si el Pst es superior a 1, como se observa en algunos puntos esto se considera que afectara de manera negativa.

Figura 24. **Flicker según el índice Pst del edificio S6**

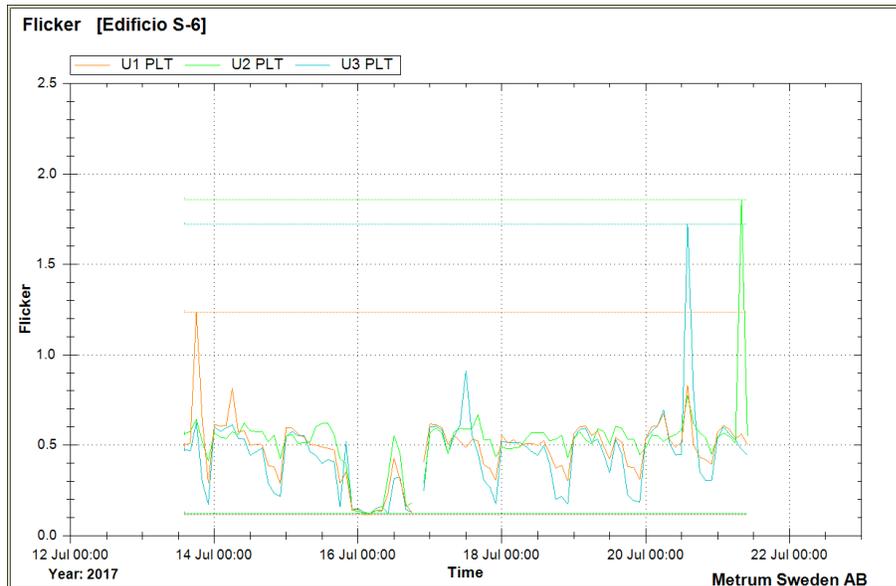


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2.11.2. **Flicker según el índice Plt del edificio S6**

El índice Plt evalúa la severidad del flicker a largo plazo, y los intervalos de medición son de dos horas esto recomendado por la Norma IEC 61000-4-30. En la gráfica podemos observar que los valores obtenidos durante el periodo de medición están dentro del parámetro que recomienda la norma.

Figura 25. **Flicker según el índice Plt del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

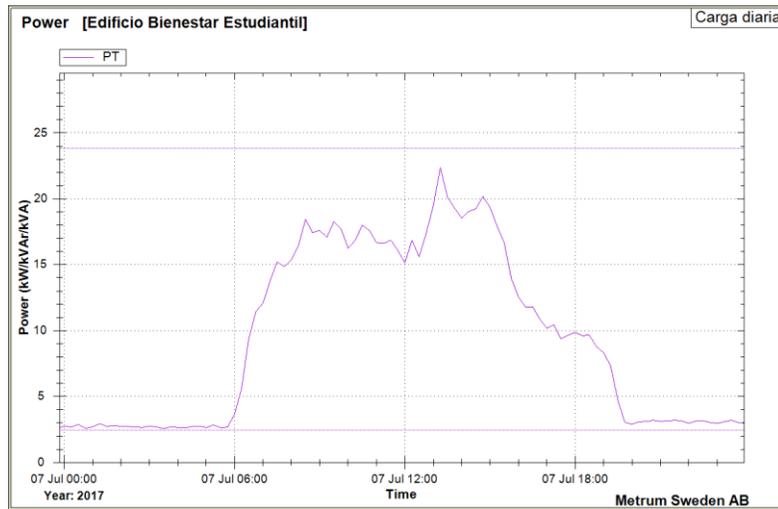
#### **4.2.3. Parámetros de medición del edificio de Bienestar Estudiantil**

A continuación, se presentan los parámetros de medición del edificio Bienestar Estudiantil.

##### **4.2.3.1. Curva de carga diaria del edificio de Bienestar Estudiantil**

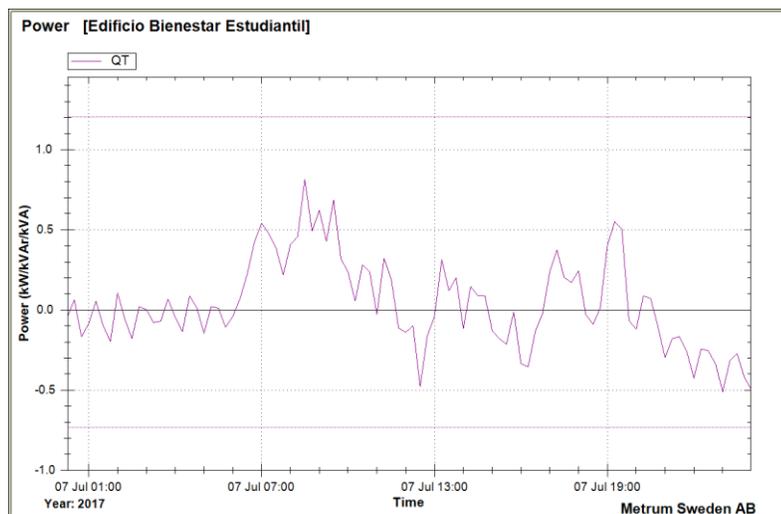
Las curvas de demanda de potencia activa y reactiva diaria del edificio Bienestar estudiantil que definen el comportamiento de la carga en función del tiempo a lo largo del día; se pueden observar que el período de menor demanda de potencia se da entre las 20:00 hrs. y las 06:00 horas, mientras que el período de mayor demanda está entre las 09:00 y las 16:30 horas.

Figura 26. **Curva carga diaria potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Curva de carga diaria potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil**

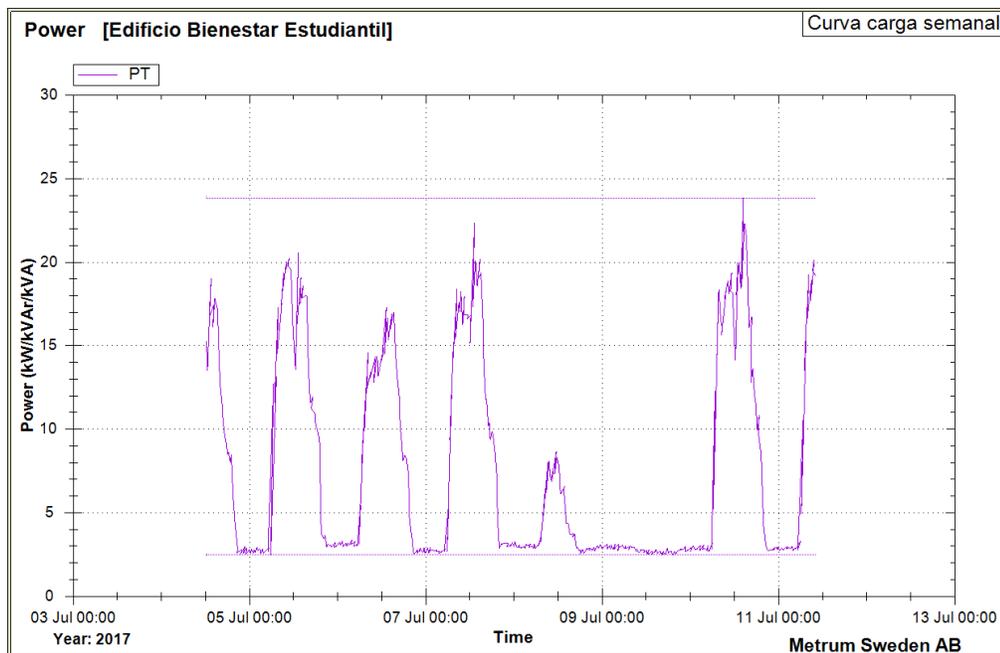


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.2. Curva de carga semanal del edificio de Bienestar Estudiantil

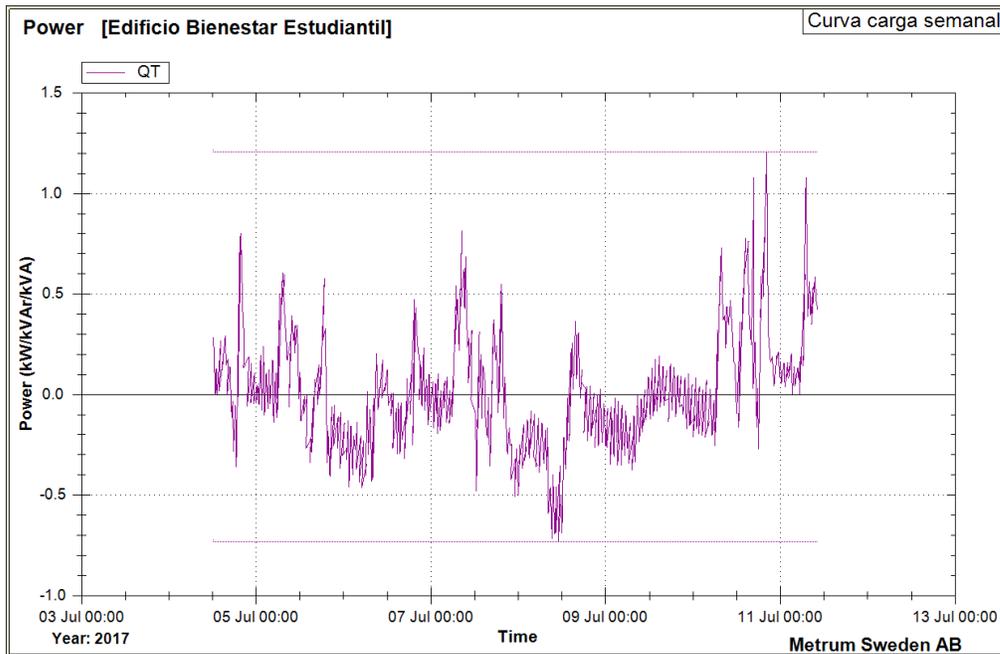
El comportamiento de la curva es muy interesante y brinda suficiente información cuando se trata de realizar un análisis más detallado en cuanto a costo de operación, ya que es una herramienta para calcular costos y pérdidas de energía.

Figura 28. Curva carga semanal potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Curva de carga semanal potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil**

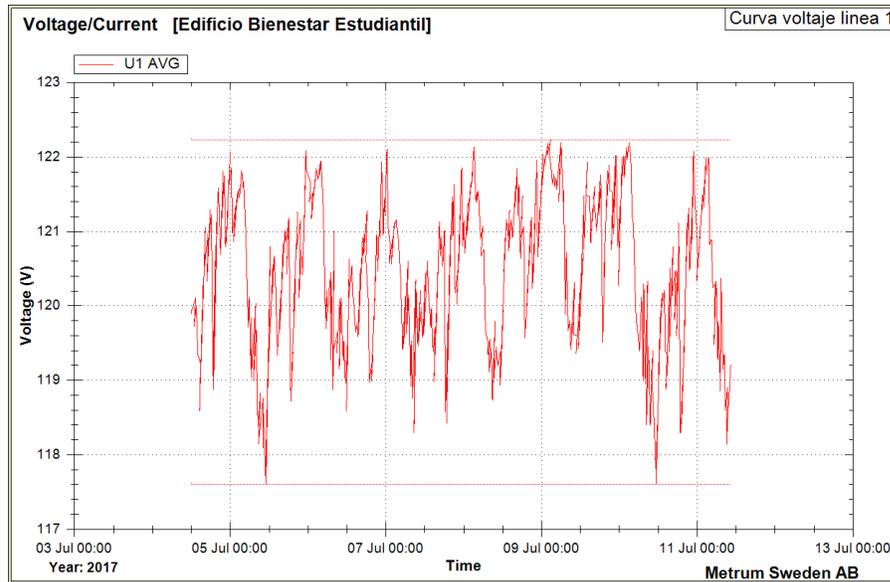


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.3. **Voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil**

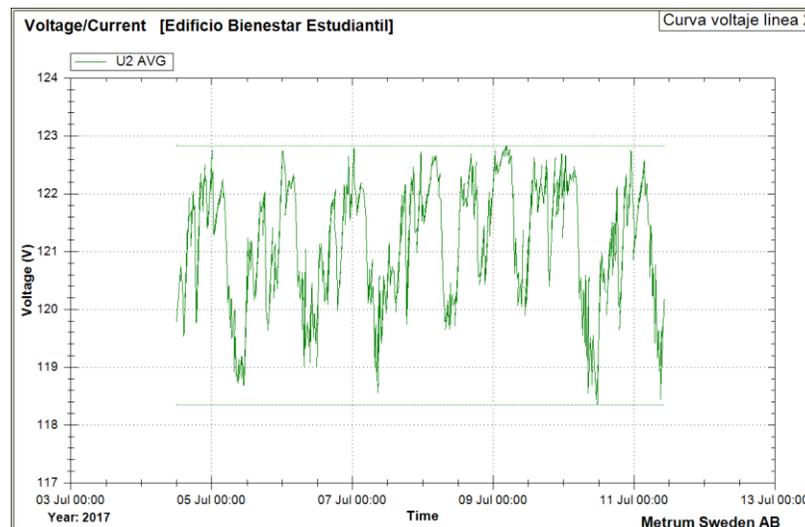
En las figuras 30, 31 y 32 se puede observar que el voltaje tiene un comportamiento similar en las tres líneas a lo largo del tiempo en que, se puede observar que en la línea uno presenta un rango de variación de 118 a 122 voltios, en la línea dos el rango de variación es de 119 a 123 voltios, la línea tres presenta una variación que la línea dos que es de 119 a 123 voltios, Según la Normas NTSD Para determinar la calidad de la energía con que se cuenta, se recurre a cálculo del índice de calidad de regulación de tensión (IRT), por los datos obtenidos esto indica que en ningún momento los valores sobrepasan este rango de tolerancia establecido.

Figura 30. **Curva de voltaje línea 1 del edificio de Bienestar Estudiantil**



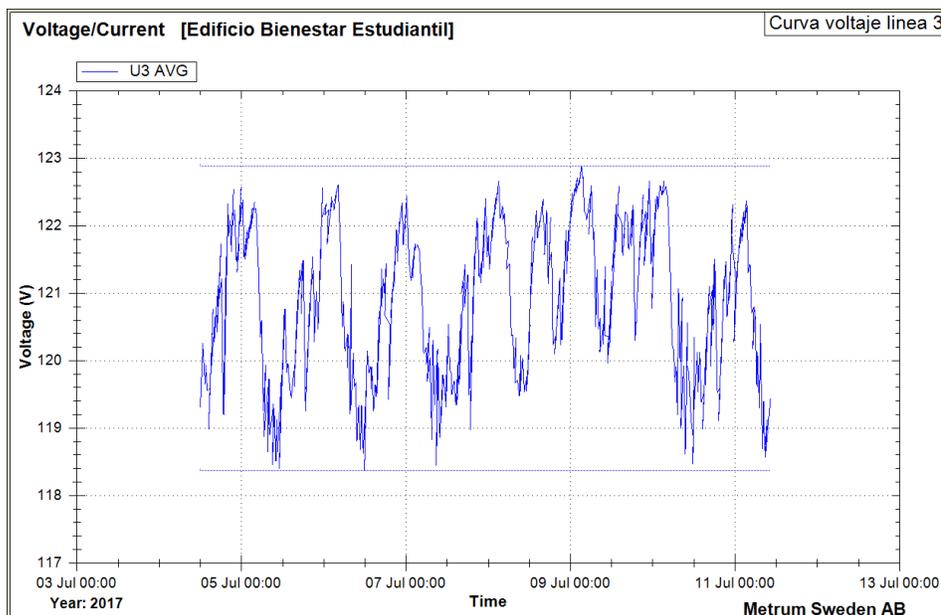
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Curva de voltaje línea 2 del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Curva de voltaje línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil**

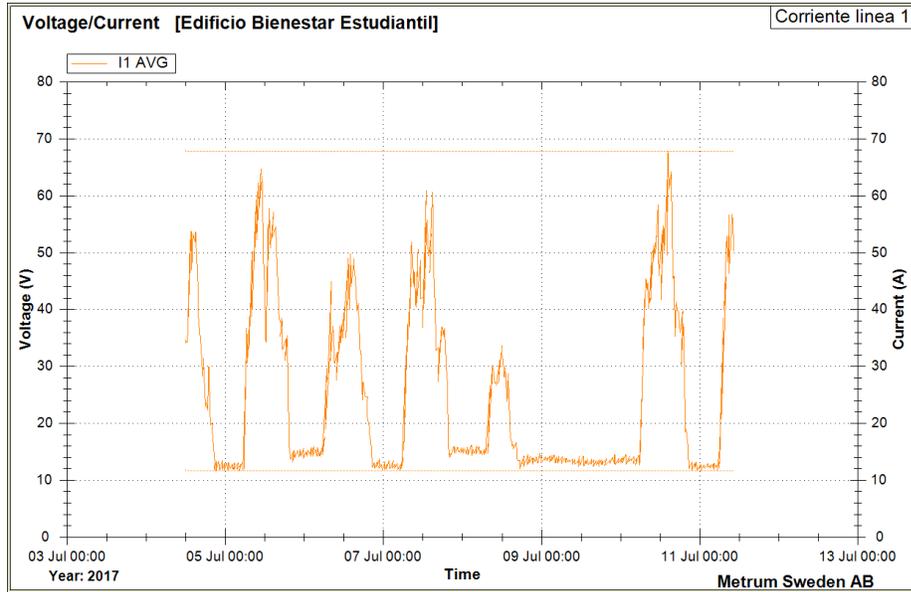


Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3.4. Corrientes del edificio de Bienestar Estudiantil**

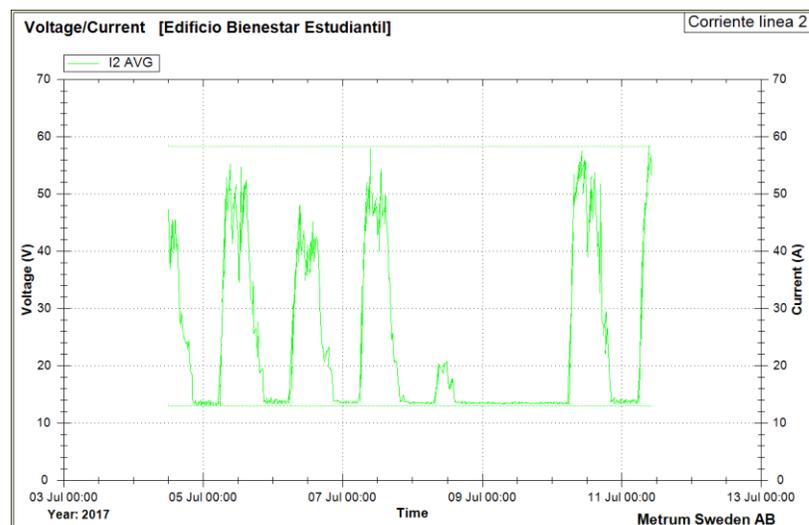
La demanda de corriente se incrementa entre las nueve horas y las dieciséis horas como se puede apreciar en las gráficas, el comportamiento de las tres líneas es similar, esto quiere decir, que las cargas conectadas funcionan o son utilizadas al mismo tiempo, con diferentes demandas en cada una de las líneas esto quiere decir que hay un desbalance en la distribución de las cargas , durante el periodo de máximo consumo que es durante el día que en gran parte el edificio cuenta con oficinas administrativas ubicadas en el tercer nivel, esto se debe a que durante este período se utiliza en un alto porcentaje el equipo de cómputo ya que entran en funcionamiento todas las oficinas del tercer nivel.

Figura 33. Corriente línea 1 del edificio de Bienestar Estudiantil



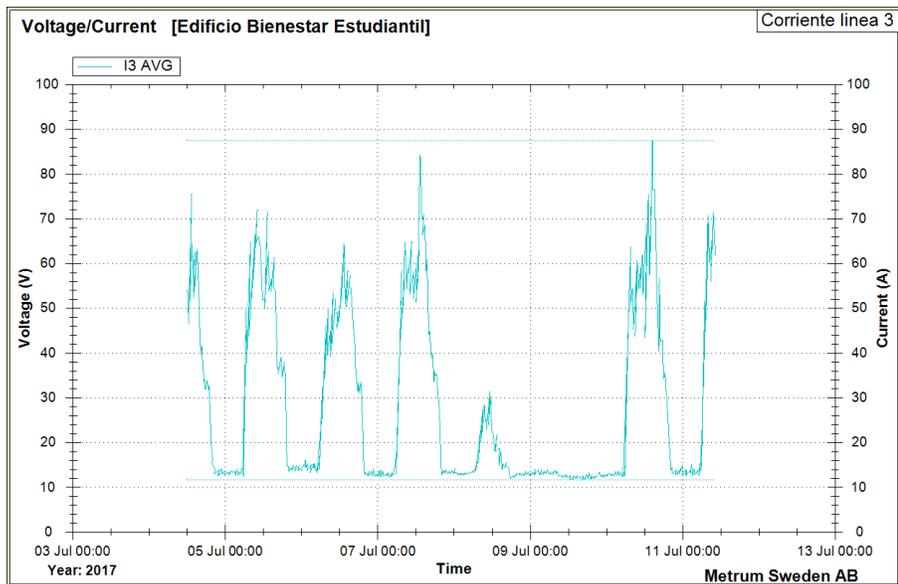
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Corriente línea 2 del edificio de Bienestar Estudiantil



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Corriente línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3.5. Potencia del edificio de Bienestar Estudiantil**

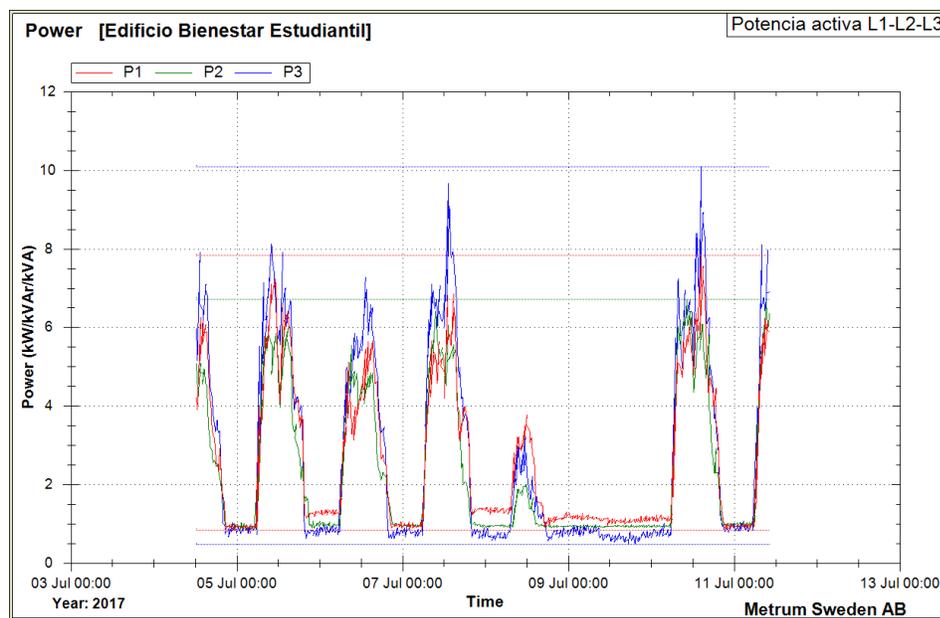
A continuación, se muestra la potencia activa y reactiva.

##### **4.2.3.5.1. Potencia activa del edificio de Bienestar Estudiantil**

El consumo de potencia activa durante el periodo de medición es bastante similar, en las tres líneas la potencia activa crece y decrece durante los mismos períodos de tiempo, aunque con valores diferentes ya que la carga instalada en cada línea tiene diferente demanda.

La línea tres se puede apreciar que es la que se encuentra más cargada con un valor de potencia máxima de 10,1 KW este carga se debe al equipo de cómputo que se utiliza en el tercer nivel del edificio, línea uno el consumo de potencia activa es similar al de la línea dos, ya la carga para estas dos líneas en un alto porcentaje es iluminación, los incrementos y decrementos durante los mismos periodos de tiempo; pero con un valor máximo de consumo de 7,8 KW para la línea uno y un consumo de 6,7 KW para la línea uno.

Figura 36. **Potencia activa línea 1, línea 2 y línea 3 del edificio de Bienestar Estudiantil**

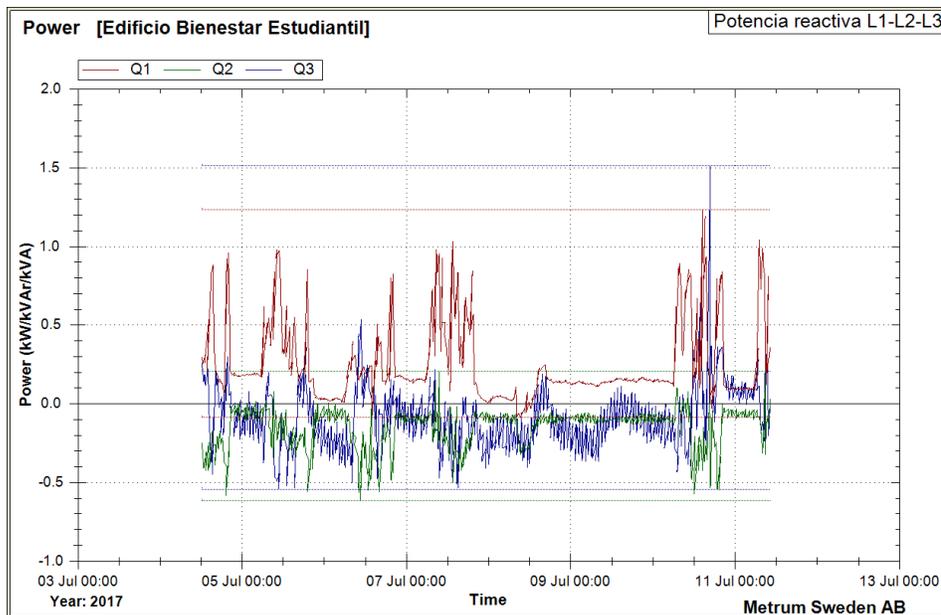


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.5.2. Potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil

El comportamiento del consumo de potencia reactiva es diferente en las tres líneas, esto indica que la carga conectada a cada una de las líneas tienen características diferentes en relación de consumo de potencia reactiva, podemos apreciar que la línea uno tiene un valor que oscilan entre -0,8421 KVAR a 1,235 KVAR, mientras que la línea dos es la de menor consumo de potencia reactiva con un valor que oscila entre -0,614 KVAR a 0,25 KVAR, la línea tres el consumo de potencia reactiva tiene valores que oscilan entre -0,542 KVAR a 1,51 KVAR.

Figura 37. Potencia reactiva del edificio de Bienestar Estudiantil



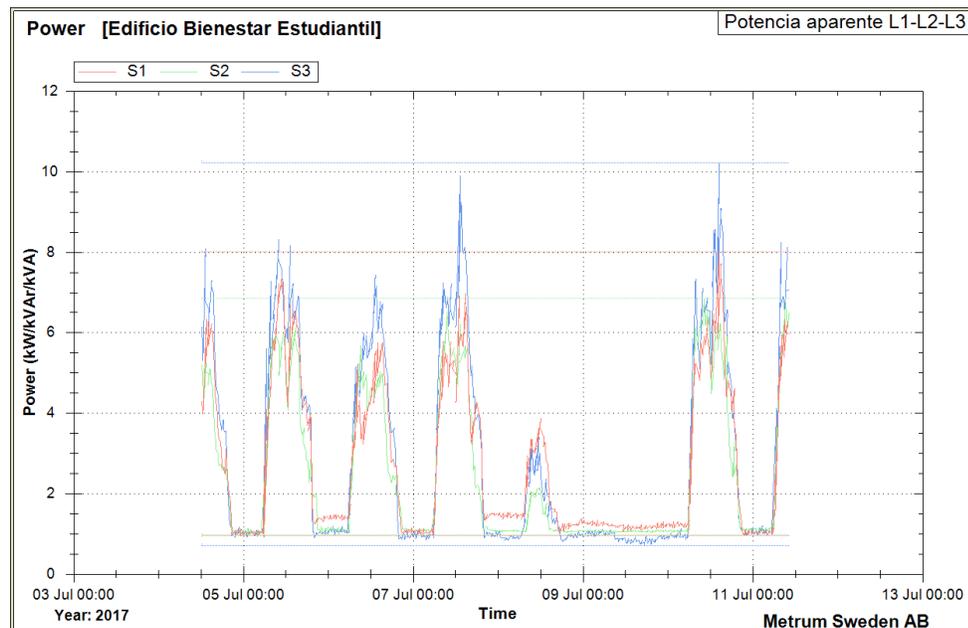
Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.5.3. Potencia aparente del edificio de Bienestar Estudiantil

La importancia de la potencia aparente consiste en que normalmente se utiliza para calcular la corriente nominal y de cortocircuito que circula por los conductores de las diferentes fases, la potencia aparente es la suma vectorial de las potencia activas y reactivas.

Como se puede apreciar la línea tres es la de mayor demanda con un gran incremento con un valor máximo de 10,22 KVA con un descenso durante la horas de la noche hasta 0,71 KVA, la línea uno toma el valor máximo de 8 KVA y un mínimo de 0,95 KVA, la línea dos toma el valor máximo de 6,85 KVA y un valor mínimo de 0,72 KVA.

Figura 38. Potencia aparente del edificio de Bienestar Estudiantil

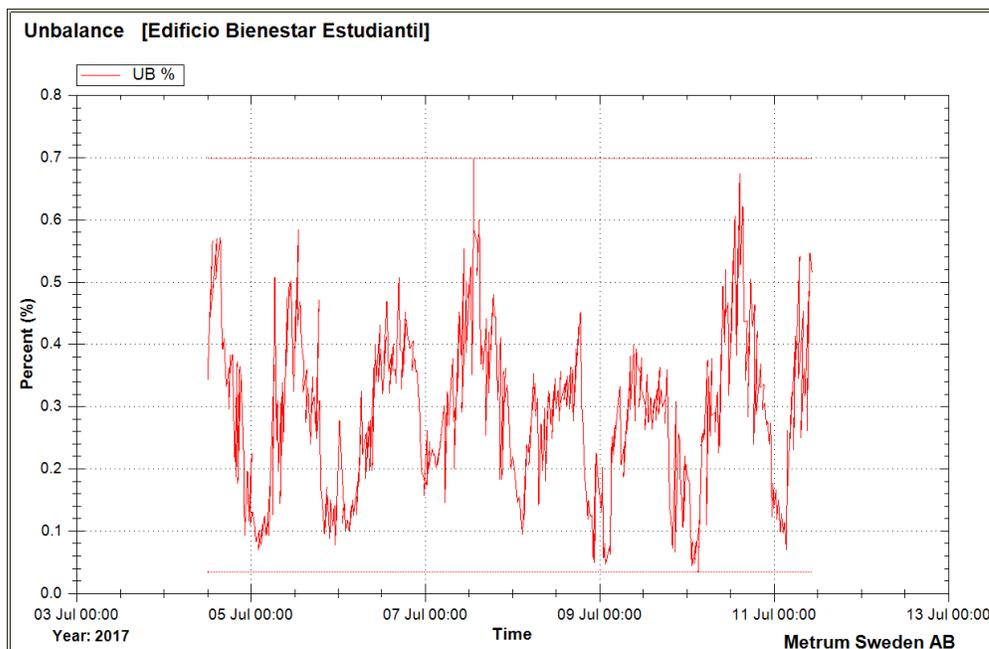


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.6. Desbalance del edificio de Bienestar Estudiantil

Como se aprecia en la figura 39 el desbalance es relativamente bajo y se encuentra dentro del parámetro recomendado, el desbalance es uno de los eventos importantes en el análisis del sistema eléctrico, esto permite identificar una mala distribución de la carga en cada una de las fases. La Norma de Transmisión y Servicio de Distribución recomienda un índice de calidad del desbalance del voltaje, esto es utilizado para evaluar el desbalance de voltaje en los servicios trifásicos, la tolerancia permitida recomendada por la norma es aplicable al distribuidor sobre el desbalance del voltaje en los puntos de entrega de energía es del 3 %.

Figura 39. Desbalance de voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil



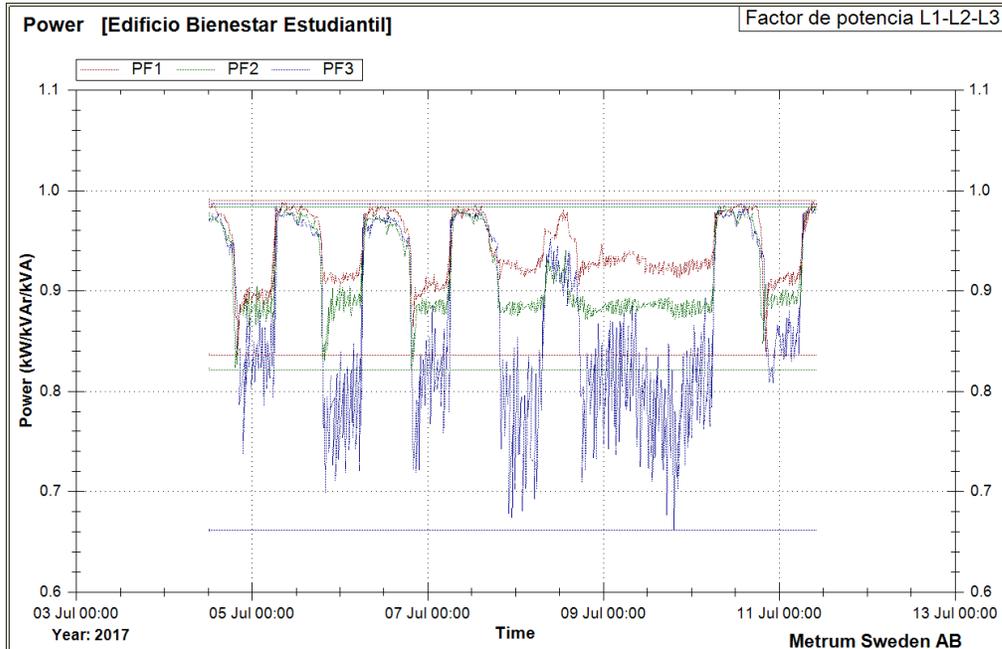
Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3.7. Factor de potencia del edificio de Bienestar Estudiantil**

Lo recomendado por la Norma NTSD dice, que en ningún caso el factor de potencia del usuario debe de ser menor al 85 % se puede apreciar que durante el periodo de medición muestra que en un alto porcentaje la carga está en funcionamiento, y el factor de potencia en las fases permanece dentro del rango establecido por la Normas Técnicas de Servicio de Distribución.

El factor de potencia de la línea uno como se aprecia tiene una buena estabilidad de 0,99 durante mas del 80 % del periodo de medición, la línea dos tiene variaciones en ciertos horarios, sin embargo, siempre el valor se mantiene dentro del rango establecido, este permanece alrededor de 0,98, el valor del factor de potencia de la línea tres en hora de mayor demanda baja hasta un mínimo de 0,66 esto se debe a que la carga instalada es de carácter inductivo, pero en la mayor parte del tiempo se mantiene en 0,99, durante los periodos de bajo consumo de energía se produce un desbalance de carga en las líneas lo que provoca que el factor de potencia individual de las líneas este por debajo del límite permitido.

Figura 40. **Factor de potencia del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3.8. Distorsión armónica del edificio de Bienestar Estudiantil**

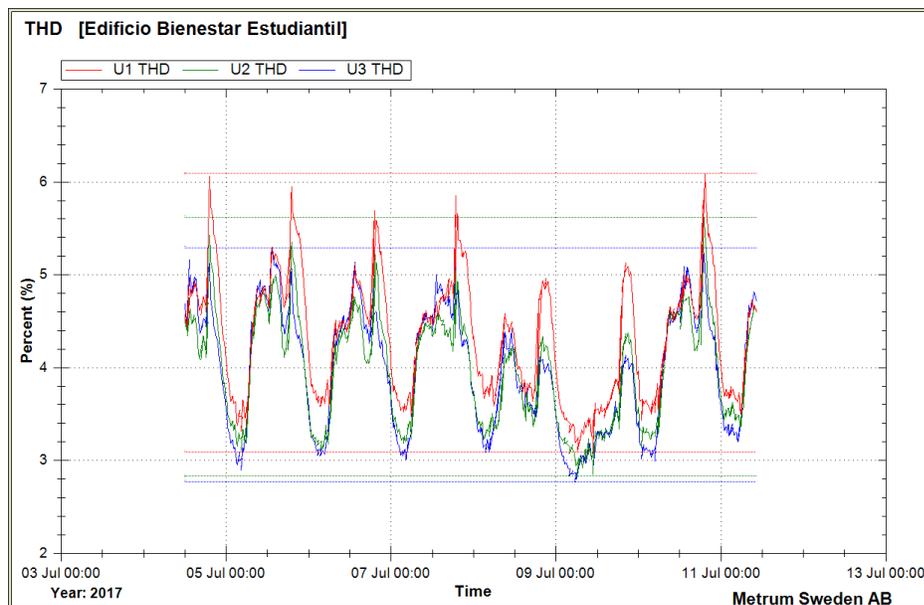
A continuación, se presenta la distorsión armónica del análisis del THD para el voltaje.

##### **4.2.3.8.1. Análisis del THD para el voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil**

La norma NTSD, establece que el porcentaje de distorsión en el voltaje no debe ser mayor de 8 %. Se puede apreciar en la gráfica que le valor se

mantiene en 6,1 % para la línea uno, que es la más alta, mientras uno y dos se mantiene en 5 %, esto quiere decir, que está dentro del valor que establece la norma.

Figura 41. **Distorsión armónica de voltaje del edificio de Bienestar Estudiantil**



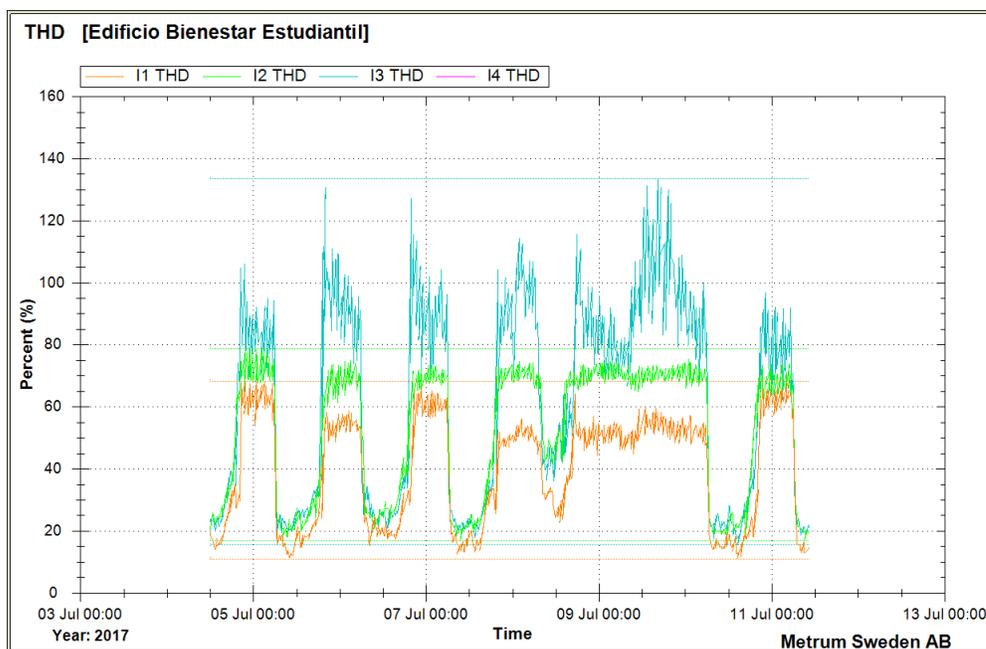
Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.8.2. **Análisis del THD para la corriente del edificio de Bienestar Estudiantil**

La Norma de Transmisión y Servicio de Distribución indica que el porcentaje de distorsión armónica en la corriente no debe ser mayor de 20 %, en la gráfica se puede observar que para el valor de la distorsión armónica total THD supera el valor establecido por la norma, la línea tres supero hasta un

valor de 133 %, la línea uno que por ciertos momentos tiene un valor máximo de 68 % y línea dos por momentos se encuentran en un valor de 79 %, que durante el periodo de medición los valores tomados estuvieron dentro del parámetro recomendado por la norma.

Figura 42. THD para la corriente del edificio de Bienestar Estudiantil



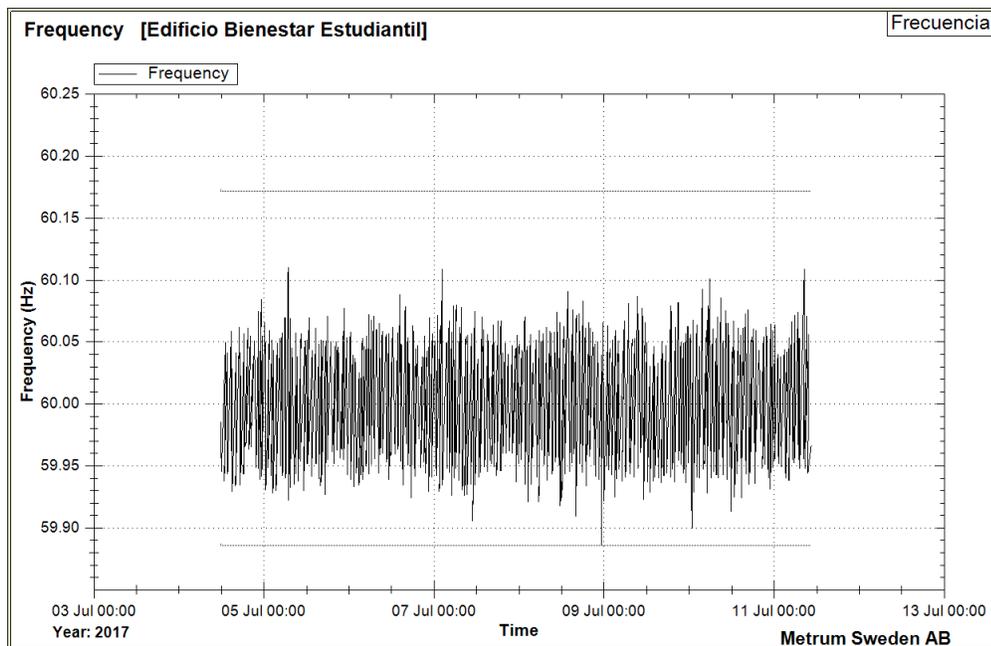
Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.9. Frecuencia del edificio de Bienestar Estudiantil

Durante el periodo de medición la frecuencia de la red eléctrica se mantuvo entre el parámetro de 59,89 Hz y 60,17 Hz esto indica que se encuentra dentro de lo que recomienda la norma, este valor es de suma

importancia ya que la variación relativamente alta puede ocasionar daños serios a los equipos electrónicos.

Figura 43. **Frecuencia del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

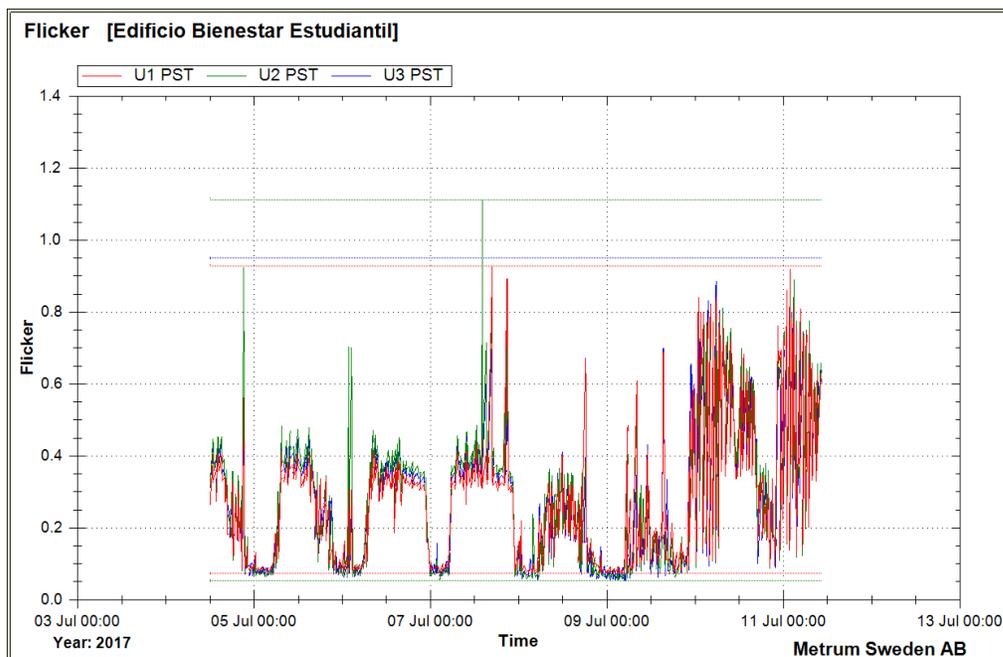
#### 4.2.3.10. ***Flicker* del edificio de Bienestar Estudiantil**

A continuación, se muestran el *flicker* según el índice pst.

#### 4.2.3.10.1. *Flicker* según el índice Pst del edificio de Bienestar Estudiantil

La norma recomienda que el índice de severidad de *flicker* para intervalos cortos es menor a 1, se puede apreciar en la figura 44 que el resultado obtenido está dentro de lo permitido. El índice Pst significa que se evalúa la severidad del flicker en periodos cortos de tiempo con intervalos de 10 minutos de observación, si el Pst es superior a 1, como se observa en un punto de la línea dos donde sobrepasa el valor permitido, esto se considera que afectara de manera negativa.

Figura 44. *Flicker* según el índice Pst del edificio de Bienestar Estudiantil

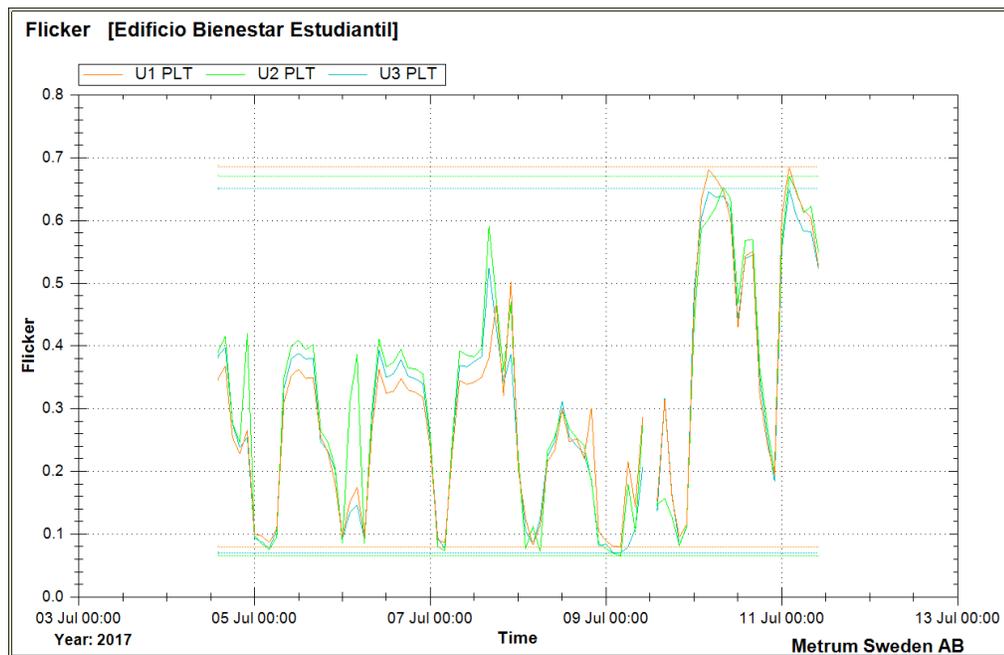


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.10.2. *Flicker* según el índice Plt del edificio de Bienestar Estudiantil

El índice Plt evalúa la severidad del *flicker* a largo plazo, y los intervalos de medición son de dos horas esto recomendado por la Norma IEC 61000-4-30. En la figura 45 se observa que los valores obtenidos durante el periodo de medición están dentro del parámetro que recomienda la norma.

Figura 45. *Flicker* según el índice Plt del edificio de Bienestar Estudiantil



Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Datos de compra de energía**

La compra de energía eléctrica a una empresa distribuidora se desarrolla dentro de un marco legal regulado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que es la encargada de velar por el cumplimiento de la ley general de electricidad, dentro de sus actividades está la de revisar y aprobar las tarifas de la energía eléctrica.

### **4.4. Rango de potencia de contratación**

Actualmente el servicio con el que se cuenta para el edificio es el de tarifa Baja Tensión Demanda Máxima fuera de punta, el pliego tarifario se aplica de acuerdo a diferentes tipos de usuarios, de los cuales existen varias categorías.

En caso que el usuario no pueda determinar la tarifa adecuada a su tipo de consumo de energía eléctrica, la distribuidora aplicara la tarifa que represente más beneficios para el consumidor con base a las características del consumo del mismo, dentro de las siguientes, los cuales se utilizaron para analizar el consumo del edificio y verificar si esta es la mejor tarifa.

#### **4.4.1. Análisis tarifario del edificio S6**

Las tarifas de energía eléctrica, son las disposiciones específicas, que contienen las condiciones y cuotas que rigen para los suministros de energía eléctrica agrupados en cada categoría de servicio, para los usuarios de primera categoría hasta 300 kWh, se aplica la tarifa social y de 301 kWh o más se aplicara la tarifa simple (BTS); Para los usuarios de segunda categoría podrán elegir libremente su propia tarifa, dentro de las opciones aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE.

Tabla XXXII. **Tarifa baja tensión con demanda fuera de punta BTDFp del edificio S6**

Tarifa Baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	236,236709	Q/usuario-mes	=	Q 236,24
Energía	8 440	kWh	0,706144	Q/kWh	=	Q 5 959,86
Potencia máxima	42,8	kW-mes	22,806367	Q/kW-mes	=	Q 976,11
Potencia contratada	53,2	kW - mes	29,163369	Q/kW-mes	=	Q 1 551,49
						Q 8 723,70
				12 % IVA		Q 1 046,84
						Q 9 770,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Tarifa baja tensión con demanda en punta BTDP del edificio S6**

Tarifa baja tensión con demanda en punta - BTDP						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	236,236709	Q/usuario-mes	=	Q 236,24
Energía	8 440	kWh	0,702653	Q/kWh	=	Q 5 930,39
Potencia máxima	42,8	kW-mes	49,858123	Q/kW-mes	=	Q 2 133,93
Potencia contratada	53,2	kW - mes	78,185846	Q/kW-mes	=	Q 4 159,49
						Q 12 460,04
				12 % IVA		Q 1 495,21
						Q 13 955,25

Fuente: elaboración propia.

Actualmente la conexión del servicio es en baja tensión, después de concluir el análisis podemos verificar que en baja tensión la tarifa con la que cuenta el servicio eléctrico es la óptima, que es la tarifa de baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFP), el pliego tarifario utilizado para el análisis es el de julio de 2017.

- Medición en media tensión

Tabla XXXIV. **Tarifa media tensión con demanda fuera de punta del edificio S6**

Tarifa Media tensión con demanda fuera de punta (MTDfp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,6929	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	8 440	kWh	0,659494	Q/kWh	=	Q 5 566,13
Potencia máxima	42,8	kW-mes	26,28803	Q/kW-mes	=	Q 1 125,13
Potencia contratada	53,2	kW - mes	12,06862	Q/kW-mes	=	Q 642,05
						Q 8 155,00
				12 % IVA		Q 978,60
						Q 9 133,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Tarifa media tensión con demanda en punta del edificio S6**

Tarifa Media tensión con demanda en punta - MTDp						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,6929	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	8 440	kWh	0,657487	Q/kWh	=	Q 5 549,19
Potencia máxima	42,8	kW-mes	24,469535	Q/kW-mes	=	Q 1 047,30
Potencia contratada	53,2	kW - mes	12,368776	Q/kW-mes	=	Q 658,02
						Q 8 076,20
				12 % IVA		Q 969,14
						Q 9 045,34

Fuente: elaboración propia.

Se observa que los precios de la potencia contratada en las tarifas en media tensión son más bajas, todos los resultados anteriores, son costos que

se tendrían al tener contratos con una distribuidora, puede notarse una diferencia de aproximadamente un 18 % entre estar conectado en baja tensión (BT) y media tensión (MT), Obviamente un cliente se ahorrará ese 18 % si está conectado en media tensión el pliego tarifario utilizado para el análisis es el de julio del 2017.

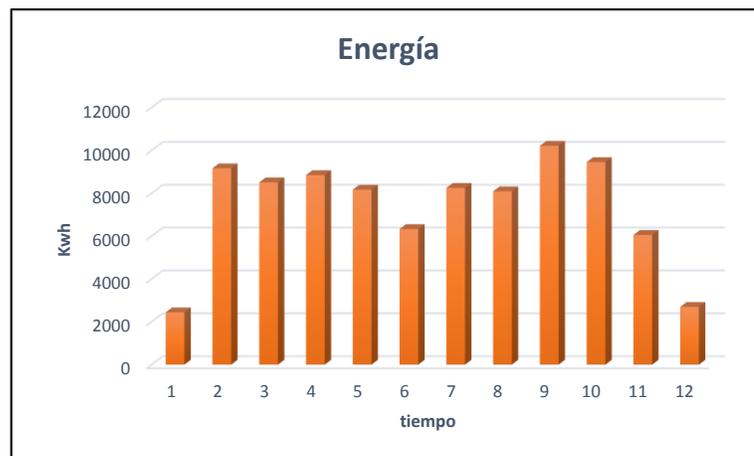
#### 4.4.1.1. Historial de consumo durante 12 meses del edificio S6

A continuación, se muestra el historial de consumo durante 12 meses.

##### 4.4.1.1.1. Elaboración gráfica de energía y potencia máxima del edificio S6

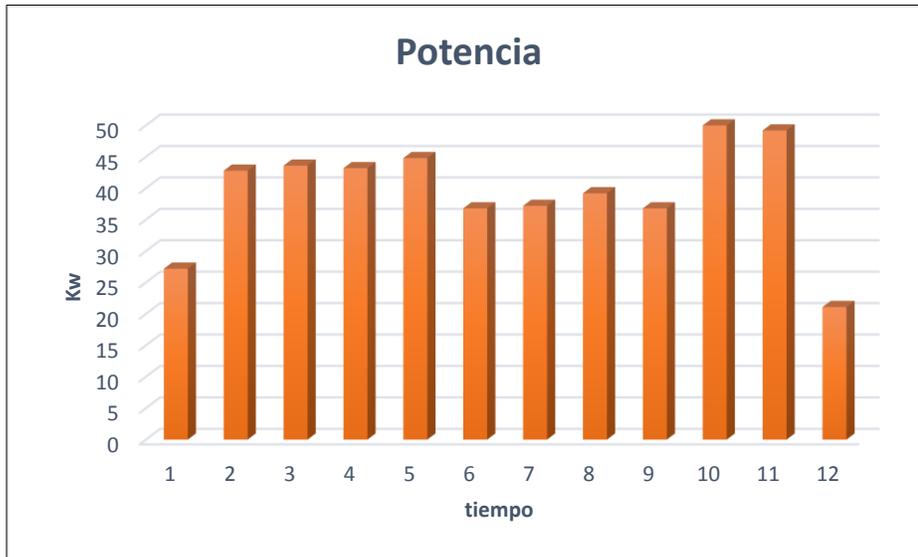
A continuación, se presenta grafica de la energía de potencia máxima.

Figura 46. Grafica energía del edificio S6



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Potencia máxima del edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente el edificio cuenta con una potencia contratada de 53,2 KW, podemos corroborar que está bien dimensionado ya que la potencia máxima podemos ver en la gráfica que es en el mes de octubre y fue de 50 KW esto quiere decir que el consumo es del 94 % de la potencia contratada, aún se cuenta con potencia disponible para alimentar algún otro equipo si fuera necesario.

#### 4.4.2. Análisis tarifario del edificio de Bienestar Estudiantil

- Medición en baja tensión

Tabla XXXVI. **Tarifa baja tensión con demanda fuera de punta BTDFp del edificio de Bienestar Estudiantil**

Tarifa Baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	236,236709	Q/usuario-mes	=	Q 236,24
Energía	6 121	kWh	0,706144	Q/kWh	=	Q 4 322,31
Potencia máxima	35,9	kW-mes	22,806367	Q/kW-mes	=	Q 818,75
Potencia contratada	49,5	kW - mes	29,163369	Q/kW-mes	=	Q 1 443,59
						Q 6 820,88
				12 % IVA		Q 818,51
						Q 7 639,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Tarifa baja tensión con demanda en punta BTDP del edificio de Bienestar Estudiantil**

Tarifa baja tensión con demanda en punta - BTDP						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	236,236709	Q/usuario-mes	=	Q 236,24
Energía	6 121	kWh	0,702653	Q/kWh	=	Q 4 300,94
Potencia máxima	35,9	kW-mes	49,858123	Q/kW-mes	=	Q 1 789,91
Potencia contratada	49,5	kW - mes	78,185846	Q/kW-mes	=	Q 3 870,20
						Q 10 197,28
				12 % IVA		Q 1 223,67
						Q 11 420,96

Fuente: elaboración propia.

La conexión del servicio es en baja tensión, después de concluir el análisis se puede verificar que en baja tensión la tarifa con la que cuenta el servicio eléctrico es la óptima, que es la tarifa de baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFP), el pliego tarifario utilizado para el análisis es el de julio de 2017.

- Medición en media tensión

Tabla XXXVIII. **Tarifa media tensión con demanda fuera de punta MTDfp del edificio de Bienestar Estudiantil**

Tarifa Media tensión con demanda fuera de punta (MTDfp)						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,6929	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	6 121	kWh	0,659494	Q/kWh	=	Q 4 036,76
Potencia máxima	35,9	kW-mes	26,28803	Q/kW-mes	=	Q 943,74
Potencia contratada	49,5	kW - mes	12,06862	Q/kW-mes	=	Q 597,40
						Q 6 399,59
				12 % IVA		Q 767,95
						Q 7 167,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Tarifa media tensión con demanda en punta MTDp del edificio de Bienestar Estudiantil**

Tarifa Media tensión con demanda en punta - MTDp						
Cargo por consumidor	1	Usuario-mes	821,6929	Q/usuario-mes	=	Q 821,69
Energía	6 121	kWh	0,657487	Q/kWh	=	Q 4 024,48
Potencia máxima	35,9	kW-mes	24,469535	Q/kW-mes	=	Q 878,46
Potencia contratada	49,5	kW - mes	12,368776	Q/kW-mes	=	Q 612,25
						Q 6 336,88
				12 % IVA		Q 760,43
						Q 7 097,31

Fuente: elaboración propia.

El edificio de Bienestar Estudiantil está conectado en baja tensión, puede notarse una diferencia de aproximadamente un 18 % entre estar conectado en baja tensión (BT) y media tensión (MT), obviamente un cliente se ahorrará ese 18 % si está conectado en media tensión el pliego tarifario utilizado para el análisis es el de julio de 2017.

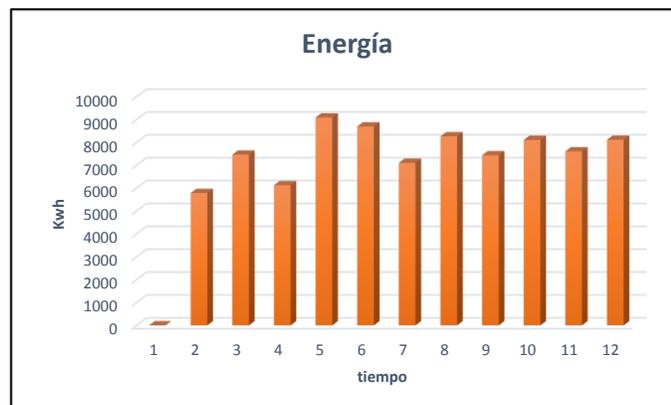
#### 4.4.3. Historial de consumo durante 12 meses del edificio de Bienestar Estudiantil

En las figuras 48 y 49 se muestra el historial de consumo de energía y potencia máxima durante 12 meses.

##### 4.4.3.1. Elaboración gráfica de energía y potencia máxima del edificio de Bienestar Estudiantil

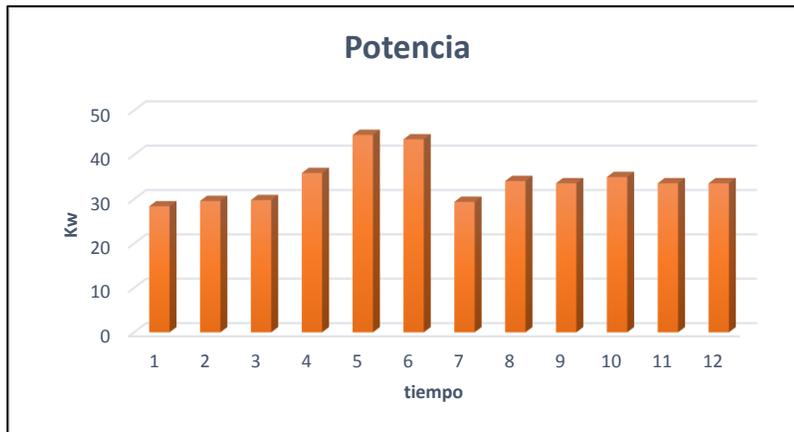
A continuación, se presenta grafica de la energía de potencia máxima.

Figura 48. Gráfica energía del edificio de Bienestar Estudiantil



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Gráfica de potencia máxima del edificio de Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente el edificio cuenta con una potencia contratada de 49,5 KW, se puede corroborar que está bien dimensionado, ya que consumo de potencia máxima se puede ver en la gráfica que es en el mes de mayo y fue de 44,5 KW esto quiere decir, que el consumo es del 97,8 % de la potencia contratada, aun se tiene potencia para conectar otras cargas si fuese necesario.

## **5. ANÁLISIS TEORÉTICO DE LAS INSTALACIONES BAJO LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA**

### **5.1. Cálculo de conductores**

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

#### **5.1.1. Cálculo de conductores por caída de tensión**

Se conoce como caída de tensión a la diferencia que existen entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma. En la selección de conductores por caída de tensión es necesario recordar los valores de regulación de voltajes máximos permitidos es 2 % del contador al centro de carga denominado alimentador y 3 % del tablero a la carga ramal. Para obtener un máximo de regulación desde el contador hasta la carga de 5 % que la norma recomienda. Lo que se busca es que la sección del conductor no exceda la regulación permitida.

Basándose en el principio de las ecuaciones para determinar el calibre de los conductores, se emplearán las ecuaciones:

$$V = I * R$$

$$P = V * I * \cos \theta$$

$$P = \sqrt{3} * V * I \cos \theta$$

$$R = \frac{d}{A * K}$$

Dónde:

V = voltaje nominal en voltios

I = corriente nominal en amperios

P = potencia en watts

Cos $\theta$  = factor de potencia

R = resistencia del conductor

D = longitud del conductor

A = sección transversal del conductor  $mm^2$

K = conductividad del conductor ( $K=57 \frac{mm^2}{ohms*m}$ )

Combinando las ecuaciones, se obtiene la expresión que ayuda y permite determinar la sección del conductor.

$$A = \frac{I * L}{e * k}$$

Dónde:

e= porcentaje de caída de tensión

$L = \sqrt{3} \cdot d$  para circuitos trifásicos y  $2 \cdot d$  para circuitos monofásicos.

## 5.2. Edificio S6

Se tomó como criterio para el cálculo de conductores el método de caída de tensión ya que la mayor parte de cargas tienen una distancia significativa desde el centro de carga, se muestra el cálculo para determinar el calibre del conductor óptimo para alimentar la carga total del edificio para el tablero principal.

Datos: 208 voltios, carga instalada 64,754 VA, distancia 80 metros, factor de potencia 0.98, para cobre  $K=57 \frac{mm^2}{ohms \cdot m}$  tipo AWG THW.

Paso 1: la caída de tensión admisible es del 2 % como máximo por ser alimentador.

$$e = 0,02 * 208 = 4,16 \text{ voltios}$$

Paso 2: utilizará la siguiente fórmula por ser circuito trifásico.

$$L = \sqrt{3} * 80 = 138 \text{ metro}$$

Paso 3: la corriente demandada se calcula en función de la potencia de la carga instalada.

$$I = \frac{64\ 754}{\sqrt{3} * 208} = 180 \text{ amperios}$$

Paso 4: aplicando la ecuación para calcular la sección del conductor, obtenemos el área necesaria para el conductor.

$$A = \frac{180 * 138}{4,16 * 57} = 105 \text{ mm}^2$$

Paso 5: la elección del conductor deberá ser un conductor que posea un área transversal igual o mayor al área calculado, de las tablas se obtiene que el conductor que cumple con este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG THW calibre núm. 4/0.

Realizando los cálculos correspondientes, en las tablas LXI, LXII y LXIII se muestra el resumen de los cálculos para la determinación del calibre de los conductores, tablero principal, tablero secundarios y tableros auxiliares, para el cálculo de los conductores de la acometida se aplicó un factor de demanda del 60 %.

**Tabla XL. Cálculo conductores, acometida y alimentadores principales del edificio S6**

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia aparente	Corriente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	va	amperios	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
Acometida	208	64 754	180	80	105,18	4/0
Primer nivel	208	36 197	100	4	5,9	8
Segundo Nivel	208	31 100	87	8	10,2	6
Tercer nivel	208	40 413	112	12	19,7	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Cálculo de conductores, tablero primer nivel del edificio S6

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia	Potencia aparente	Corriente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	watts	Va	amperios	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
<b>Tablero de distribución principal</b>							
Circuito 1	120	1440		12	50	5,9	8
Circuito 2	120	1450		12	32	3,9	10
Circuito 3	120	1200		11	27	2,8	12
Circuito 4	120		1665	14	37	5,0	10
Circuito 5	120	1070		9	36	3,3	12
Circuito 6	120		1965	16	20	3,2	12
Circuito 7	120		450	4	22	0,8	14
Circuito 8	120	430		4	13	0,4	14
Circuito 9	120	85		2	5	0,2	14
Circuito 10	120		1800	15	22	3,2	12
Circuito 11	120	360		3	24	0,7	14
Circuito 12	120	1040		9	24	2,1	14
Circuito 13	120	1520		13	86	11,2	6
Circuito 14	120	1520		13	56	7,3	8
Circuito 15	120	1800		15	50	7,3	8
Circuito 16	120		450	4	31	1,1	14
Circuito 17	120		600	5	13	0,6	14
Circuito 18	120		300	3	13	0,3	14
Circuito 19	120	200		2	24	0,4	14
Circuito 20	120	660		6	5	0,3	14
Circuito 21	120	880		8	25	1,9	14
Circuito 22	120		1500	13	30	3,7	10
<b>Tablero auxiliar Núm. 1</b>							
Circuito 1	120	2 400		21	25	5,1	10
Circuito 2	120	400		4	38	1,3	14
<b>Tablero auxiliar Núm. 2</b>							
Circuito 1	120	1 750		15	24	3,6	10
<b>Tablero auxiliar Núm. 3</b>							
Circuito 1	208	2 984		15	3	0,4	14
<b>Tablero auxiliar Núm. 4</b>							
Circuito 1	208		3 000	8	5	0,2	14
Circuito 2	120	375		3	6	0,3	14
Circuito 3	120		150	1	5	0,2	14
<b>Tablero auxiliar Núm. 5</b>							
Circuito 1	120	1 430		13	6	0,7	14
Circuito 2	120		150	1	38	0,5	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Conductores segundo nivel del edificio S6

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia	Potencia Aparente	Corriente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	watts	va	amperios	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
<b>Tablero de distribución principal</b>							
Circuito 1	120	1 200		11	45	4,6	10
Circuito 2	120	1 400		12	45	5,4	10
Circuito 3	120		2 400	20	36	7,0	8
Circuito 4	120	1 280		11	26	2,8	12

Continuación de la tabla XLII.

Circuito 5	120	1 440		13	55	6,8	8
Circuito 6	120	1 200		11	32	3,3	12
Circuito 7	120	1 560		14	26	3,5	10
Circuito 8	120	1 560		14	26	3,5	10
Circuito 9	120	1 440		13	39	4,8	10
Circuito 10	120	1 680		15	55	7,9	8
Circuito 11	120	1 360		12	37	4,3	10
Circuito 12	120	1 520		13	29	3,8	10
Circuito 13	120		1 500	13	43	5,2	10
Circuito 14	120		2 100	18	35	6,0	8
Circuito 15	120		2 400	20	21	4,1	10
Circuito 16	120		1 500	13	34	4,1	10
Circuito 17	120		2 100	18	17	2,9	12
Circuito 18	120	1 360		12	21	2,4	12
Circuito 19	120		450	4	14	0,5	14
Circuito 20	120	920		8	26	2,0	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Conductores tercer nivel del edificio S6**

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia	Potencia Aparente	Corriente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	watts	va	amperios	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
<b>Tablero de distribución principal</b>							
Circuito 1	120	1 400		12	45	5,4	10
Circuito 2	120	1 200		11	45	4,6	10
Circuito 3	120	1 360		12	37	4,3	10
Circuito 4	120	1 440		13	55	6,8	8
Circuito 5	120	1 200		11	32	3,3	12
Circuito 6	120	1 440		12	39	4,8	10
Circuito 7	120	1 280		11	26	2,8	12
Circuito 8	120	1 360		12	21	2,4	12
Circuito 9	120	1 680		15	55	7,9	8
Circuito 10	120	1 560		14	26	3,5	10
Circuito 11	120	1 560		14	26	3,5	10
Circuito 12	120	1 520		13	29	3,8	10
Circuito 13	120		450	4	14	0,5	14
Circuito 14	120		2 400	20	21	4,1	10
Circuito 15	120		1 200	10	46	4,5	10
Circuito 16	120		2 100	18	35	6,0	8
Circuito 17	120	920		8	26	2,0	14
Circuito 18	120		2 100	18	17	2,9	12
Circuito 19	120		4 300	36	30	10,5	6
Circuito 20	120		1 500	13	34	4,1	10
<b>Tablero auxiliar núm.1</b>							
Circuito 1	120	1600		14	58	7,9	8
<b>Tablero auxiliar núm.2</b>							
Circuito 1	120	800		7	20	1,4	14
<b>Tablero auxiliar núm.3</b>							
Circuito 1	120	2160		19	16	3,0	12
Circuito 2	120		2700	23	16	3,5	10

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.1. Cálculo de protecciones

La filosofía de la protección busca primero proteger a las personas que usan las instalaciones y luego a los equipos instalados, por medio de interrupción inmediata de disparo en tiempos bastante cortos, provocados por fallas internas o externas de las instalaciones. Con la correcta coordinación de la protección se logra aislar solamente la parte de la instalación afectada, mientras las otras zonas siguen funcionando sin interrupción alguna lográndose una continuidad del servicio.

Entre los dispositivos utilizados para protecciones se tienen: interruptores, fusibles, redes de tierras.

Calculando la protección para el tablero principal del tercer nivel del edificio S6.

$$I_{nominal\ del\ circuito} = \frac{P}{V}$$

$$I_{nominal\ del\ circuito} = \frac{40\ 413}{\sqrt{3} \times 208} = 112,17\ Amperios.$$

$$I_{nominal\ del\ interruptor} = 1,25 \times I_{nominal\ del\ circuito}$$

$$I_{nominal\ del\ interruptor} = 1,25 \times 112,17 = 140\ amperios$$

Por lo calculado el interruptor principal para el tablero del tercer nivel tiene que ser de las siguientes dimensiones, 3\*140 amperios, 208 voltios.

Tabla XLIV. **Cálculo de protecciones tablero principal del edificio S6**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	Amperios	Amperios
Acometida	208	260	3 x 300
Primer nivel	100	125	3 x 150
Segundo nivel	87	109	3 x 150
Tercer nivel	112	140	3 x 150

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Protecciones primer nivel del edificio S6**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	Amperios	Amperios
Protecciones primer nivel			
Circuito 1	12	15	1 x 20
Circuito 2	12	15	1 x 20
Circuito 3	11	14	1 x 15
Circuito 4	14	18	1 x 20
Circuito 5	9	11	1 x 15
Circuito 6	16	20	1 x 15
Circuito 7	4	5	1 x 15
Circuito 8	4	5	1 x 20
Circuito 9	2	3	1 x 15
Circuito 10	15	19	1 x 20
Circuito 11	3	4	1 x 15
Circuito 12	9	11	1 x 15
Circuito 13	13	16	1 x 20
Circuito 14	13	16	1 x 20
Circuito 15	15	19	1 x 20
Circuito 16	4	5	1 x 15
Circuito 17	5	6	1 x 15
Circuito 18	3	4	1 x 15
Circuito 19	2	3	1 x 15
Circuito 20	6	8	1 x 15
Circuito 21	8	10	1 x 15
Circuito 22	13	16	1 x 20
<b>Protecciones Tablero auxiliar núm. 1</b>			
Circuito 1	21	26	1 x 30
Circuito 2	4	5	1 x 15
<b>Protecciones Tablero auxiliar núm. 2</b>			
Circuito 1	15	19	1 x 20
<b>Protecciones Tablero auxiliar núm. 3</b>			
Circuito 1	15	19	2 x 20
<b>Protecciones Tablero auxiliar núm. 4</b>			
Circuito 1	8	10	3 x 15
Circuito 2	3	4	1 x 15
Circuito 3	1	2	1 x 15
<b>Protecciones Tablero auxiliar núm. 5</b>			
Circuito 1	13	16	1 x 20
Circuito 2	1	2	1 x 15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Protecciones segundo nivel del edificio S6**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	Amperios	Amperios
Protecciones Segundo nivel			
Circuito 1	11	14	1 x 15
Circuito 2	12	15	1 x 15
Circuito 3	20	25	1 x 30
Circuito 4	11	14	1 x 15
Circuito 5	13	16	1 x 20
Circuito 6	11	14	1 x 15
Circuito 7	14	18	1 x 20
Circuito 8	14	18	1 x 20
Circuito 9	13	16	1 x 20
Circuito 10	15	19	1 x 20
Circuito 11	12	15	1 x 15
Circuito 12	13	16	1 x 20
Circuito 13	13	16	1 x 20
Circuito 14	18	23	1 x 30
Circuito 15	20	25	1 x 30
Circuito 16	13	16	1 x 20
Circuito 17	18	23	1 x 25
Circuito 18	12	15	1 x 15
Circuito 19	4	5	1 x 15
Circuito 20	8	10	1 x 15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Protecciones tercer nivel del edificio S6**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	Amperios	Amperios
Protecciones tercer nivel			
Circuito 1	12	15	1 x 15
Circuito 2	11	14	1 x 15
Circuito 3	12	15	1 x 15
Circuito 4	13	16	1 x 20
Circuito 5	11	14	1 x 15
Circuito 6	12	15	1 x 15
Circuito 7	11	14	1 x 15
Circuito 8	12	15	1 x 15
Circuito 9	15	19	1 x 20
Circuito 10	14	18	1 x 20
Circuito 11	14	18	1 x 20
Circuito 12	13	16	1 x 20
Circuito 13	4	5	1 x 15
Circuito 14	20	25	1 x 30
Circuito 15	10	13	1 x 15
Circuito 16	18	23	1 x 30
Circuito 17	8	10	1 x 15
Circuito 18	18	23	1 x 30
Circuito 19	36	45	1 x 50
Circuito 20	13	16	1 x 20

Continuación de la tabla XLVII.

<b>Protecciones tablero auxiliar núm.1</b>			
Circuito 1	14	18	1 x 20
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.2</b>			
Circuito 1	14	18	1 x 20
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.3</b>			
Circuito 1	19	24	1 x 30
Circuito 2	23	29	1 x 30

Fuente: elaboración propia.

## 5.2.2. Diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad

A continuación, se muestra el diseño de iluminación bajo los parámetros de calidad.

### 5.2.2.1. Iluminación de interiores

En el diseño de iluminación de interiores es de utilidad aprovechar la luz natural, ya que posee mejores cualidades que la luz artificial y constituye un elemento de bienestar, si se utiliza la luz natural eso lleva el acondicionamiento correcto de las áreas de trabajo respecto a las ventanas cortinas destinados a controlar la luz solar directa, de manera que no afecte a las personas.

Tabla XLVIII. **Nivel de iluminación recomendada en lux**

<b>Nivel de iluminación recomendada en lux</b>		
Local	Tareas	Ni
Oficinas	Lectura y escritura intermitentes	300
	Lectura y escritura continuas	500
	Contabilidad, dactilografía	500
	Mecanografía	700
	Salas de dibujo	500
Laboratorios	Alumbrado general.	300
	En el plano de tableros de dibujos	500
	Archivos	100
	Baños, halls, escaleras, vestuarios	100

Continuación de la tabla XLVIII.

Escuelas	Salón de clases de profesores	300
	Salas de dibujo	500
	Salas de gimnasia	200
	Auditorio	300
	Salas de conferencias	150
Tiendas	Escaparates	2 000
	Interior de tiendas, circulación	300
	Zona de estanterías	1 000
Industrias	Cartón	500
	Caucho	300
	Harina	500
	Fundición de hierro	200
	Forjado de hierro	500
	Imprentas	1 000
	Madera	500
	Papel	500
	Pinturas	300
Textiles	1 000	
Bodegas	De poco movimiento	50
	Mucho movimiento, embalaje tosco	100
	Mucho movimiento, embalaje medio	200
	Mucho movimiento, embalaje fino	500

Fuente: Norma UNE-EN 12464-1:2003.

Para un sistema de uso escolar el nivel de iluminación recomendado es de 300 lux, lámparas de tipo empotrable directa, tubo led 17 watts luz blanca, apantallada con difusor, el método utilizado para diseñar el sistema de iluminación será el de cavidad zonal, con este método se realizara el diseño para el salón de clase 210 el cual tiene las siguientes dimensiones, 8,80 de largo y 7,80 de altura con altura de 3,00 metros; el color del techo, pared y piso son blanco, crema y gris respectivamente, el grado de contaminación y suciedad para el local será considerada como medio; la altura del plano de trabajo es de 0,75 metros sobre el nivel del piso.

Salón 210:

- Paso núm. 1. sistema lumínico escuelas (salón de clases)
- Paso núm. 2.  $N_i=300$  lux

- Paso núm. 3. característica empotrable directa
- Paso núm. 4. se utilizarán luminarias con reflector de doble lámpara tubo led 17 watts t8 luz blanca.
- Paso núm. 5. luminaria 2x17 watts
- Paso núm. 6.

$$hm = H - h = 3,00 - 0,75 = 2,25 \text{ mts}$$

- Paso núm.7. condiciones de mantenimiento: medio
- Paso núm. 8. color de paredes.

$$P = a_1 + a_2 + b_1 + b_2 = 7,80 + 7,80 + 8,80 + 8,80 = 33,2$$

$$x_1 = \frac{a_1 * fr_1}{p} = \frac{7,80 * 0,61}{33,2} = 0,1433$$

$$x_2 = \frac{a_2 * fr_2}{p} = \frac{7,80 * 0,61}{33,2} = 0,1433$$

$$x_3 = \frac{b_1 * fr_3}{p} = \frac{8,80 * 0,61}{33,2} = 0,1696$$

$$x_4 = \frac{b_2 * fr_4}{p} = \frac{8,80 * 0,61}{33,2} = 0,1696$$

$$\sum total = 0,63$$

$$FR_{PAREDES} = 0,63$$

- Paso núm. 9

$$K = \frac{a * b}{h_m * \frac{p}{2}} = \frac{7,80 * 8,80}{2,25 * \frac{33,2}{2}} = 1,84$$

- Paso núm.10. factor de mantenimiento, medio=0,65
- Paso núm. 11

$$\begin{array}{cc} 1,25 & 0,55 \\ 1,32 & x \\ 1,5 & 0,59 \end{array}$$

$$x = 0,55 - \left( \frac{1,25 - 1,32}{1,25 - 1,5} \right) (0,55 - 0,59) = 0,56$$

$$Cu = 0,56$$

- Paso núm. 12. número de luminarias.

$$\#Lum = \frac{NI * a * b}{\frac{\phi}{Lum} * No. \frac{lamp}{Lumen} * Cu * Fm} = \frac{300(7,80 * 8,80)}{3\ 200 * 2 * 0,56 * 0,65} = 8,84 \approx 9 \text{ luminarias}$$

- Paso núm.13. espaciamento máximo:

$$EM = 1,3 * 2,25 = 2,93 \text{ metros}$$

- Paso núm. 14.

$$\text{Núm. columnas} = \frac{a}{EM} = \frac{7,80}{2,93} = 2,66$$

$$\text{Núm. filas} = \frac{a}{EM} = \frac{8,80}{2,93} = 3,00$$

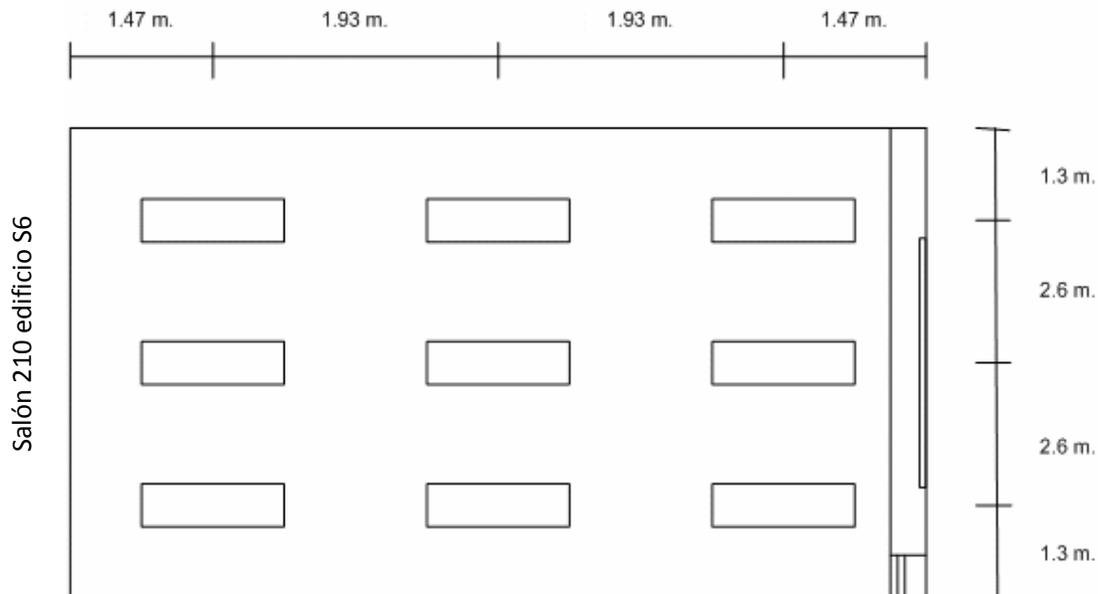
- Paso núm.15. Se realiza la distribución en el área y se comprueba con la ecuación:

$$NI = \frac{\text{Núm. Total de Lamp} * \text{Núm.} \frac{\text{Lamp}}{\phi} * Cu * Fm}{S} \geq \text{Tablas}$$

$$NI = \frac{9 * 2 * 3200 * 0,58 * 0,62}{7,80 * 8,80} \geq 300$$

$$302 \geq 300$$

Figura 50. **Distribución de luminarias salón 210**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

### 5.2.3. Análisis económico

En el diseño propuesta se estima la impletención de tubos led para cumplir con la cantidad de lúmenes establecido en cada ambiente del edificio, por lo tanto, se cotiza el tubo led de 17 watt TECNO LITE, esta lámpara utiliza el mismos balastro que la lámpara fluorescente T8, así mismo se utilizará los balastros con que cuenta el edificio.

Tabla XLIX. **Iluminación actual tubo fluorescente**

Nivel 1	lámparas	Vatios	Kw	Horas	Kw/h	Q/kwh	Total Quetzales
	368	40	14,720	110	1 619,2	0,7377	1 195
Nivel 2							
	492	40	19,680	110	2 164,8	0,7377	1 597
Nivel 3	554	40	21,760	110	2 394	0,07377	1 766
Total							<b>4 558</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Diseño propuesto tubo led**

Nivel 1	lámparas	Vatios	Kw	Horas	Kw/h	Precio	Total Q/mes
	368	17	6,256	110	688,16	0,7377	508
Nivel 2							
	492	17	8,364	110	920,00	0,7377	679
Nivel 3	554	17	9,418	110	1 035,98	0,07377	764
Total							<b>1 951</b>

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Ahorro mensual} = 4\ 558 - 1\ 951 = Q\ 2\ 607$$

$$\text{Ahorro anul} = 12 \text{ meses} * Q 2 607 = Q 31 284$$

Entonces utilizando la herramienta del valor actual neto (VAN), para evaluar si la inversión es rentable a largo plazo tomando un 5 % como tasa de inflación y el 3 % de factor de riesgo entonces la tasa de rendimiento mínima aceptada será del 8 %, con el ahorro que se logra en el cambio del sistema de iluminación a led, se cotizó el valor de cada tubo con un valor de Q 26,35 marca TECNO LITE en el mercado en la fecha martes 08 de agosto y necesitamos adquirir 1 404 unidades esto con un valor total de Q 36 995,40, este valor será nuestra inversión inicial, para un análisis de 4 ya que en este periodo es aceptable recuperar lo invertido.

$$VAN = -36 996 + \frac{31 284}{(1 + 0,08)} + \frac{31 284}{(1 + 0,08)^2} + \frac{31 284}{(1 + 0,08)^3} + \frac{31 284}{(1 + 0,08)^4} =$$

$$VAN = 66 620,58$$

Con base en el análisis realizado y el cálculo obtenido, el valor actual neto es positivo, eso quiere decir, que la inversión es financieramente atractiva ya que además de recuperar la inversión y de obtener la rentabilidad deseada, mientras mayor sea el VAN más efectivo será la inversión.

$$TIR = -36,996 + \frac{31 284}{(1 + K)} + \frac{31 284}{(1 + K)^2} + \frac{31 284}{(1 + K)^3} + \frac{31 284}{(1 + K)^4} = 0$$

$$TIR = 76 \%$$

En el cálculo realizado la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de rendimiento mínima, esto indica que el proyecto es atractivo en términos financieros entonces el proyecto se debe aceptar.

Tabla LI. **Periodo de recuperación**

Año	0	1	2	3	4
Flujo neto	-36,996	31,284	31,284	31,284	31,284
VAN	-36,996	28,967	26,821	24,834	22,995
VAN acumulado	-36,996	-8,029	18,792	43,626	66,621

Fuente: elaboración propia.

Con base en el análisis realizado con el periodo de recuperación, se puede concluir que la inversión inicial se recupera en menos de dos años, para que un proyecto sea rentable la inversión inicial debe recuperarse en no más de cuatro años, esto indica que el proyecto es financieramente atractiva.

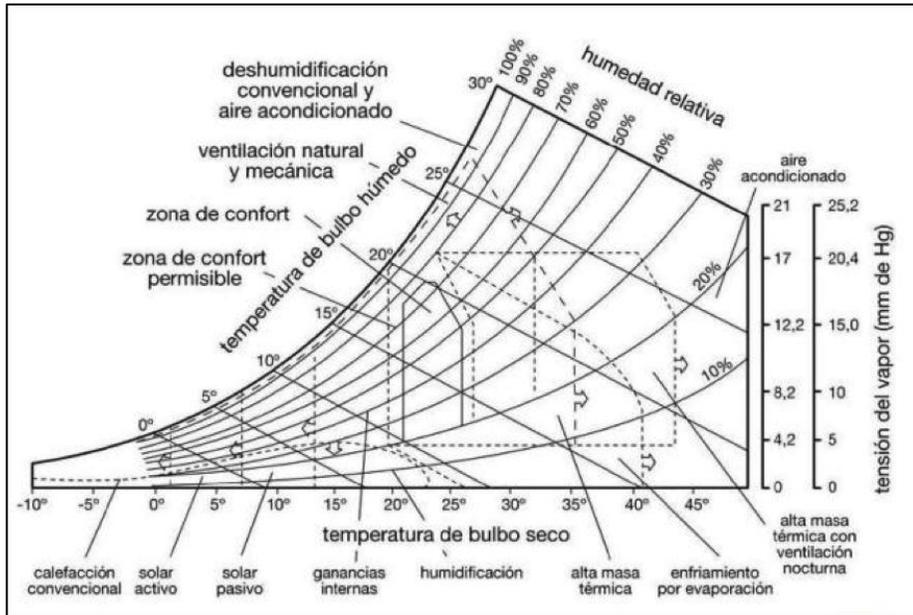
#### **5.2.4. Sistema de aire acondicionado**

Se entiende por aire acondicionado la creación y mantenimiento de un ambiente que tenga condiciones apropiadas de temperatura, humedad, ventilación y pureza de aire, de tal forma que se procure el confort térmico de los ocupantes o las condiciones térmicas de producción de un proceso especializado, actualmente el edificio no cuenta con sistema de aire acondicionado en ninguno de sus ambientes.

##### **5.2.4.1. Zona de confort**

La zona de confort para actividades desarrolladas dentro del edificio se muestra en la figura 51. Zona que está establecida a partir de los estudios sobre los efectos de temperatura, humedad, movimiento del aire y de las personas.

Figura 51. Zona de confort



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

### 5.2.4.2. Tipos y equipos de aire acondicionado.

Por su tipo de operación, en algunos equipos se sopla aire sobre una parrilla o serpentín frío, inyectando el aire a menor temperatura hacia el recinto que se desea enfriar, la sustancia que produce el frío puede ser un refrigerante o bien agua helada.

- Por inyección de aire frío soplado sobre el refrigerante.
- Por circulación de agua helada.

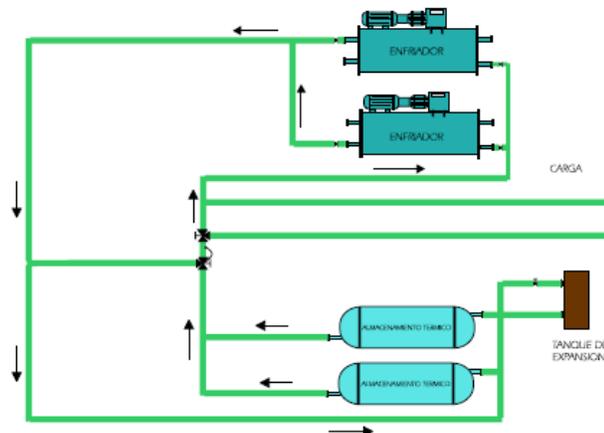
La relación de eficiencia energética (KW/TR) es un índice que manifiesta la potencia que debe absorber un equipo de refrigeración para producir una

tonelada de refrigeración, expresado como kilowatt/tonelada de refrigeración un equipo es más eficiente entre menor sea este indicador.

### 5.2.5. Sistema generador de agua helada enfriados por aire, chillers

Son equipos que enfrían agua en su evaporador, luego ésta es enviada por medio de una red de tuberías hacia una serie de manejadoras de aire que soplan el frío a los locales que se acondicionaran. Los compresores de refrigeración pueden ser del tipo: tornillo o centrífugo y es una buena alternativa para implementarla al edificio S6.

Figura 52. Sistema por medio de chillers



Fuente: elaboración propia.

Este sistema de generación de acondicionamiento de aire que es común encontrar en cualquier edificio comprenden: compresores, evaporadores y condensadores; el suministro de aire se realiza mediante manejadoras de aire y mezcladoras y contribuye al ahorro de energía al aplicar motores de alta eficiencia, conjuntamente optimiza la torre de enfriamiento con la finalidad

proporcionar agua de refrigeración a condiciones, tales de temperatura y flujo que se reduzca el consumo de energía en el compresor.

### 5.3. Edificio de Bienestar Estudiantil

Para el edificio de Bienestar Estudiantil se tomó como criterio para el cálculo de conductores el método de caída de tensión, ya que la mayor parte de cargas tienen una distancia significativa desde el centro de carga, se muestra el cálculo para determinar el calibre del conductor óptimo para alimentar la carga total del edificio para el tablero principal.

Datos: 208 voltios, banco de transformadores 75 KVA, distancia 30 metros, factor de potencia 0,98, para cobre  $K=57 \frac{mm^2}{ohms*m}$  tipo AWG THW.

- Paso 1: la caída de tensión admisible es del 2 % como máximo por ser alimentador.

$$e = 0,02 * 208 = 4,16 \text{ voltios}$$

- Paso 2: se utilizará la siguiente fórmula por ser circuito trifásico.

$$L = \sqrt{3} * 30 = 52 \text{ metro}$$

- Paso 3: la corriente demandada se calcula en función de la potencia de la carga instalada.

$$I = \frac{75\ 000}{\sqrt{3} * 208} = 208 \text{ amperios}$$

- Paso 4: aplicando la ecuación para calcular la sección del conductor, obtenemos el área necesaria para el conductor.

$$A = \frac{208 * 52}{4,16 * 57} = 46 \text{ mm}^2$$

- Paso 5: la elección del conductor deberá ser un conductor que posea un área transversal igual o mayor al área calculado, de las tablas se obtiene que el conductor que cumple con este requerimiento de sección transversal es el conductor AWG THW calibre núm. 4/0.

Realizando los cálculos correspondientes, en las tablas LII y LIII se muestra el resumen de los cálculos para la determinación del calibre de los conductores, tablero principal, tablero secundarios y tableros auxiliares.

Tabla LII. **Cálculo conductores, acometida y alimentadores principales**

Núm. circuito	Voltaje	Potencia Aparente	Corriente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	va	amperios	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
Acometida	208	75 000	208	30	46	4/0
Primer nivel	208	35 291	100	4	5,9	8
Segundo Nivel	208	32 100	89	9	10,8	6
Tercer nivel	208	41 516	115	15	21,6	4

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Cálculo de conductores, tablero primer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia	Potencia Aparente	Distancia	Área transversal	Calibre conductor
	volts	watts	va	metros	mm <sup>2</sup>	AWG TW
Circuito 1	120	960		50	1,56	12
Circuito 2	120	960		25	1,95	12
Circuito 3	120	1 280		32	3,33	12
Circuito 4	120	960		31	2,42	12
Circuito 5	120	990		40	3,12	12
Circuito 6	120		960	20	1,56	14
Circuito 7	120	1 280		25	2,60	12
Circuito 8	120	720		55	3,22	12
Circuito 9	120	740		35	2,05	14
Circuito 10	120	730		38	2,22	12
Circuito 11	120	740		44	2,57	12
Circuito 12	120	960		15	1,17	14
Circuito 13	120	960		40	1,33	14
Circuito 14	120	1 090		40	3,56	12
Circuito 15	120	1 100		40	3,57	12
Circuito 16	120	1 100		40	3,57	12
Circuito 17	120		1 150	40	4,00	12
Circuito 18	120		1 150	35	4,00	12
Circuito 19	120	1 100		38	3,57	12
Circuito 20	120	1 100		39	3,57	12
Circuito 21	120	1 100		40	3,57	12
Circuito 22	120	1 500	1500	37	4,50	12
Circuito 23	120	2 400		25	8,11	10
Circuito 24	120	400		38	1,3	14
Circuito 25	120	1 750		24	3,6	10
Circuito 26	208	2 984		3	0,4	14
Circuito 27	208		3 000	5	0,2	14
Circuito 28	120	375		6	0,3	14
Circuito 29	120		150	5	0,2	14
Circuito 30	120	1 430		6	0,7	14
Circuito 31	120		150	38	0,5	14

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Conductores segundo nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia aparente	corriente	Distancia	Calibre conductor
	volts	va	amperios	Metros	AWG TW
Circuito 1	120	1 280	10	40	
Circuito 2	120	880	7	35	14
Circuito 3	120	1 200	10	36	14
Circuito 4	120	960	8	18	14
Circuito 5	120	960	8	45	12
Circuito 6	120	1 200	10	32	12
Circuito 7	120	1 280	11	26	10
Circuito 8	120	720	6	26	12
Circuito 9	120	960	8	39	12
Circuito 10	120	960	8	55	12
Circuito 11	120	960	8	37	14
Circuito 12	120	960	8	29	12
Circuito 13	120	80	1	43	12
Circuito 14	120	450	4	35	12
Circuito 15	120	450	4	21	12
Circuito 16	120	600	5	34	12
Circuito 17	120	900	8	17	12
Circuito 18	120	750	6	21	12
Circuito 19	120	500	4	14	14
Circuito 20	120	1 090	9	26	14
Circuito 21	120	500	5	29	14
Circuito 22	120	450	4	43	14
Circuito 23	120	1 200	10	35	12
Circuito 24	120	1 200	10	21	12
Circuito 25	120	1 380	12	34	12
Circuito 26	120	1 900	16	17	12
Circuito 27	208	2 100	18	21	10
Circuito 28	208	2 100	18	14	10

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Conductores tercer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. Circuito	Voltaje	Potencia Aparente	corriente	Distancia	Calibre conductor
	volts	Va	amperios	Metros	AWG TW
Circuito 1	120	1 320	11	41	10
Circuito 2	120	1 380	12	34	12
Circuito 3	120	960	8	17	14
Circuito 4	120	960	8	21	14
Circuito 5	120	960	8	14	14
Circuito 6	120	1 280	11	26	12
Circuito 7	120	960	8	29	14
Circuito 8	120	400	4	43	12
Circuito 9	120	1 360	12	35	12
Circuito 10	120	960	8	21	12
Circuito 11	120	1 280	11	34	12
Circuito 12	120	960	8	21	14
Circuito 13	120	960	8	34	12
Circuito 14	120	960	8	35	12
Circuito 15	120	1 280	11	21	12
Circuito 16	120	600	5	34	12
Circuito 17	120	150	2	17	14
Circuito 18	120	300	3	21	14
Circuito 19	120	150	2	14	14
Circuito 20	120	150	2	26	14
Circuito 21	120	150	2	29	14
Circuito 22	120	300	4	43	12
Circuito 23	120	900	12	35	12
Circuito 24	120	900	8	21	14
Circuito 25	120	300	4	34	14
Circuito 26	120	150	2	29	14
Circuito 27	120	150	2	43	14
Circuito 28	120	150	2	35	14
Circuito 29	120	300	3	21	14
Circuito 30	120	150	2	34	14
Circuito 31	120	900	8	21	12
Circuito 32	120	1 800	15	34	10
Circuito 33	120	500	5	35	14
Circuito 34	120	1 197	10	21	12
Circuito 35	120	1 596	14	34	12
Circuito 36	120	2 000	17	27	10
<b>Conductores tablero auxiliar núm.1</b>					
Circuito 1	120	1 492	13	38	12
Circuito 2	120	923	8	24	12
Circuito 3	120	798	7	36	12
<b>Conductores tablero auxiliar núm.2</b>					
Circuito 1	120	698	6	23	12
Circuito 2	120	1 386	12	31	12

Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1.1. Cálculo de protecciones del edificio de Bienestar Estudiantil

Para el edificio de Bienestar estudiantil los interruptores en los tableros secundarios están respaldados por un interruptor principal ubicado en el tablero de distribución principal, existiendo uno para cada tablero secundario. La filosofía de la protección busca primero proteger a las personas que usan las instalaciones y luego a los equipos instalados, por medio de interrupción inmediata de disparo en tiempos bastante cortos, provocados por fallas internas o externas de las instalaciones. Con la correcta coordinación de la protección se logra aislar solamente la parte de la instalación afectada, mientras las otras zonas siguen funcionando sin interrupción alguna lográndose una continuidad del servicio.

Entre los dispositivos utilizados para protecciones se tienen: interruptores, fusibles, redes de tierras.

Calculando la protección para el tablero principal para el tablero principal de Bienestar Estudiantil

$$I_{nominal\ del\ circuito} = \frac{P}{V}$$

$$I_{nominal\ del\ circuito} = \frac{75\ 000}{\sqrt{3} \times 208} = 208,17\ Amperios.$$

$$I_{nominal\ del\ interruptor} = 1,25 \times I_{nominal\ del\ circuito}$$

$$I_{nominal\ del\ interruptor} = 1,25 \times 208,17 = 260,22\ amperios$$

Para la capacidad del banco de transformadores con la que cuenta la instalación que es de 75 Kva, calculado para tener toda la disponibilidad de energía el interruptor debe tener las siguientes dimensiones, 3\*300 amperios, 208 voltios.

**Tabla LVI. Cálculo de protecciones tablero principal del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. Circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	Amperios	Amperios
Acometida	208	260	3 x 300
Primer nivel	91	114	3 x 125
Segundo Nivel	68	85	3 x 100
Circuito 4	83	104	3 x 125

Fuente: elaboración propia.

**Tabla LVII. Protecciones primer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. Circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	Amperios	amperios	Amperios
Protecciones primer nivel			
Circuito 1	11	14	1 x 15
Circuito 2	7	9	1 x 15
Circuito 3	10	13	1 x 15
Circuito 4	8	10	1 x 15
Circuito 5	8	10	1 x 15
Circuito 6	10	13	1 x 15
Circuito 7	11	14	1 x 15
Circuito 8	6	8	1 x 15
Circuito 9	8	10	1 x 15
Circuito 10	8	10	1 x 15
Circuito 11	8	10	1 x 15
Circuito 12	8	10	1 x 15
Circuito 13	8	10	1 x 15
Circuito 14	4	5	1 x 15
Circuito 15	4	5	1 x 15

Continuación de la tabla LVII.

Circuito 16	5	6	1 x 15
Circuito 17	8	10	1 x 15
Circuito 18	6	8	1 x 15
Circuito 19	4	5	1 x 15
Circuito 20	9	11	1 x 15
Circuito 21	4	5	1 x 15
Circuito 22	4	5	1 x 15
Circuito 23	10	13	1 x 15
Circuito 24	10	13	1 x 15
Circuito 25	12	15	1 x 20
Circuito 26	16	20	2 x 20
Circuito 27	16	20	1 x 15
Circuito 28	10	13	1 x 15
Circuito 29	10	13	1 x 15
Circuito 30	12	15	1 x 15
Circuito 31	16	20	1 x 20
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.5</b>			
Circuito 1	5	6	1 x 15
Circuito 2	5	6	1 x 15

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Protecciones segundo nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	amperios	amperios	amperios
Protecciones segundo nivel			
Circuito 1	10	16	1 x 20
Circuito 2	7	9	1 x 15
Circuito 3	10	13	1 x 15
Circuito 4	8	10	1 x 15
Circuito 5	8	10	1 x 15
Circuito 6	10	16	1 x 20
Circuito 7	11	14	1 x 15
Circuito 8	6	8	1 x 15
Circuito 9	8	10	1 x 15
Circuito 10	8	10	1 x 15
Circuito 11	8	10	1 x 15
Circuito 12	8	10	1 x 15
Circuito 13	1	2	1 x 15
Circuito 14	4	5	1 x 15
Circuito 15	4	5	1 x 15

Continuación de la tabla LVIII.

Circuito 16	5	6	1 x 15
Circuito 17	8	10	1 x 15
Circuito 18	6	8	1 x 15
Circuito 19	4	5	1 x 15
Circuito 20	9	11	1 x 15
Circuito 21	5	6	1 x 15
Circuito 22	4	5	1 x 15
Circuito 23	10	13	1 x 15
Circuito 24	10	13	1 x 15
Circuito 25	12	15	1 x 15
Circuito 26	16	20	1 x 20
Circuito 27	18	23	1 x 30
Circuito 28	18	23	1 x 30

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Protecciones tercer nivel del edificio de Bienestar Estudiantil**

Núm. circuito	Corriente nominal	Corriente interruptor	Protección
	amperios	amperios	amperios
Protecciones tercer nivel			
Circuito 1	16	20	1 x 20
Circuito 2	9	11	1 x 15
Circuito 3	13	16	1 x 20
Circuito 4	10	13	1 x 15
Circuito 5	10	13	1 x 15
Circuito 6	16	20	1 x 20
Circuito 7	14	18	1 x 20
Circuito 8	8	10	1 x 15
Circuito 9	10	13	1 x 15
Circuito 10	10	13	1 x 15
Circuito 11	10	13	1 x 15
Circuito 12	10	13	1 x 15
Circuito 13	2	3	1 x 15
Circuito 14	5	6	1 x 15
Circuito 15	5	6	1 x 15
Circuito 16	6	8	1 x 15
Circuito 17	10	13	1 x 15
Circuito 18	8	10	1 x 15
Circuito 19	5	6	1 x 15
Circuito 20	11	14	1 x 15
Circuito 21	6	8	1 x 15
Circuito 22	5	6	1 x 15
Circuito 23	13	16	1 x 20
Circuito 24	13	16	1 x 20
Circuito 25	15	19	1 x 20

Continuación de la tabla LIX.

Circuito 26	20	25	1 x 30
Circuito 27	23	29	1 x 30
Circuito 28	23	29	1 x 30
Circuito 29	16	20	1 x 20
Circuito 30	9	11	1 x 15
Circuito 31	13	16	1 x 20
Circuito 32	10	13	1 x 15
Circuito 33	10	13	1 x 15
Circuito 34	16	20	1 x 20
Circuito 35	14	18	1 x 20
Circuito 36	8	10	1 x 15
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.1</b>			
Circuito 1	15	19	1 x 20
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.2</b>			
Circuito 1	16	20	1 x 20
<b>Protecciones tablero auxiliar núm.3</b>			
Circuito 1	14	18	1 x 20
Circuito 2	21	26	1 x 30

Fuente: elaboración propia.



## **6. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

### **6.1. Definición de una tierra física**

Se define como un sistema de conexión formado por electrodos y líneas de tierra de una instalación eléctrica, entre las funciones principales es la de limitar voltajes causados por descargas atmosféricas o contacto accidental de los conductores de suministro durante condiciones anormales, poner a un mismo diferencial de potencial cero todas las partes tangibles como accesorios, carcasas y dispositivos que conforman una instalación eléctrica, la filosofía de realizar un buen diseño de tierras físicas es el de proteger a las personas y los equipos con que se cuentan, el conductor debe estar dimensionado para soportar, transportar, las corrientes de falla y de corto circuito.

La trayectoria de tierra física debe ser íntegra como en el caso de los circuitos eléctricos de potencia. El conductor debe estar dimensionado para soportar, transportar, las corrientes de falla y de corto circuito, plenamente identificado, como lo indica la norma, de color verde o cable desnudo protegido de canalización. La importancia de la tierra física debe ser considerada como parte principal en los diseños de cualquier instalación, como soporte y seguridad de funcionamiento de dispositivos electrónicos de transmisión de datos en telecomunicaciones que son los más susceptibles como consecuencia de problemas de funcionamiento y rendimiento de funciones. En la tabla LX se consideran valores de impedancias que pueden ser utilizados en los diseños de instalaciones de tierras físicas, para que estas funcionen adecuadamente sin repercusiones, como lo indica la Norma NEC.

Tabla LX. **Valores de impedancias**

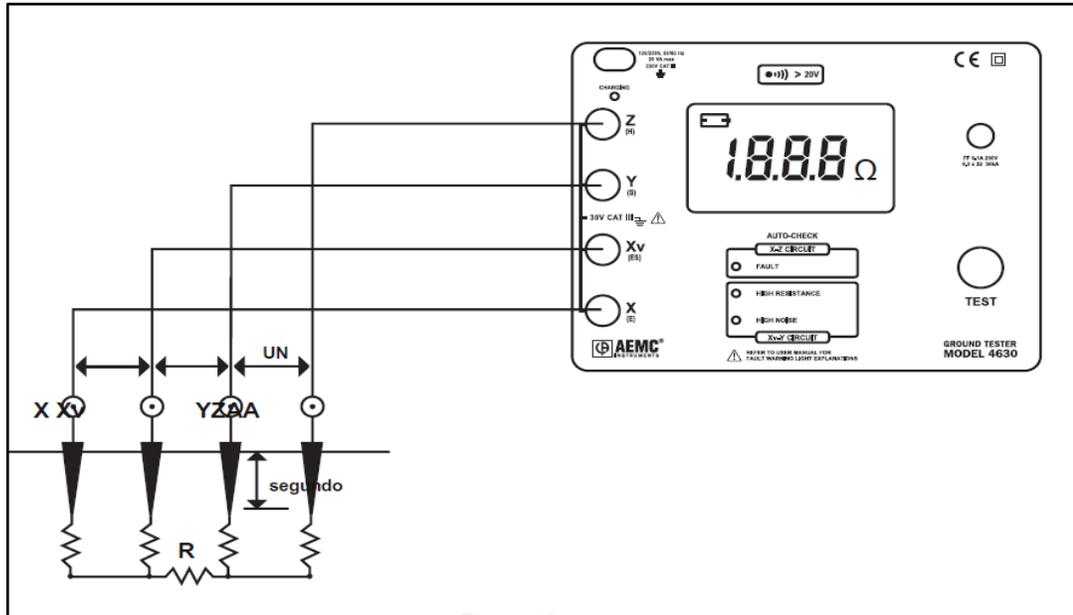
Impedancias recomendadas por el NEC	
Tierra física de seguridad como casas de habitación, comercios, oficinas o locales considerados como de concentración pública.	Impedancia no mayor a 25Ω
Tierra física para sistemas de protección de computadoras	Impedancia no mayor a 5Ω
Áreas de descarga atmosféricas con incidencias mayores a 30 descargas por milla cuadrada en un año.	Impedancia no mayor a 1Ω

Fuente: Norma NEC

### **6.1.1. Procedimiento de medición de la resistividad del terreno**

Se realiza la medición con el objetivo de encontrar los puntos óptimos para la colocación de red de tierra, si se usa un valor no adecuado de resistividad del suelo en la etapa del diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar diferente de lo planeado, trayendo serias consecuencias, para la realizar la medición se utiliza el método de Wenner, para esto se necesita 4 electrodos colocados en línea recta y a una misma profundidad de penetración, la distancia entre electrodo aplicada para este caso fue de 6 metros de separación con profundidad de 0,20 metros.

Figura 53. Método de Wenner



Fuente: *Método de Wenner*. [www.AEMC.com](http://www.AEMC.com). Consulta: 10 de mayo de 2018.

$$\rho = \frac{4\pi ar}{\left[1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}\right) - \left(\frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)\right]}$$

Si la distancia enterada b es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos,  $a > 20b$  entonces la formula se simplifica.

$$\rho = 2\pi aR$$

Dónde:

$\rho$  = resistividad aparente del terreno ohm\*metro.

A = espaciamiento en metros de electrodos.

R = resistencia aparente del terreno.

En la tabla LXI se muestran los valores obtenidos, los valores aplicados fueron de 6 metros de separación entre electrodos a una profundidad de 0,2 metros.

Tabla LXI. **Resistencia y resistividad del terreno**

<b>Punto de la toma de medición</b>	<b>Resistencia aparente del terreno</b>	<b>Resistividad Ohm*metro</b>
Jardín Bienestar estudiantil	2,14 Ohm	81 Ohm*metro
Jardín edificio S-6	1,64 Ohm	63 Ohm*metro

Fuente: elaboración propia.

El equipo utilizado para realizar las mediciones es un medidor de tierras marca AEMC modelo 4 630, con un rango de medición de 0 a 2 000 ohm y una exactitud del 2 % para 0 a 200 Ohm y  $\pm 5$  % de la lectura para 200 ohm a 2 000 ohm, con tiempo de respuesta de 4 a 8 segundos

Figura 54. **Telurometro AEMC**



Fuente: *Telurometro AEMC*. [www.AEMC.com](http://www.AEMC.com). Consulta: 21 de septiembre de 2018.

## 6.2. Impedancia actual del edificio Bienestar Estudiantil

El edificio del Bienestar Estudiantil no cuenta con una red de tierra física para la protección de las personas y los equipos con que cuenta el inmueble, por esa razón en este trabajo se propone un diseño adecuado con un nivel de impedancia adecuado a las necesidades.

### 6.2.1. Impedancia recomendada

La impedancia máxima para edificios es del 5 ohm, recomendado por el código de electrificación nacional NEC, con base en ese dato se inicia con un diseño, se realizó la medición de la resistividad del terreno y se obtuvo un valor de 81 ohm\*metro, con estos datos se trabajará para llegar a la impedancia recomendada.

### 6.2.2. Diseño propuesto para la red de tierras del edificio Bienestar Estudiantil.

Tabla LXII. Valores nominales

Valores nominales	
Potencia nominal	75 KVA
Número de fases	3
Impedancia	4,8 %
Voltajes primario	13,8 KV
Voltaje secundario	208 / 120 V
Corriente en el primario	3,14 A
Corriente en el secundario	208 A
Tiempo de falla	1 seg.

Fuente: elaboración propia.

$$I_{sec} = \frac{75\,000}{\sqrt{3} * 208} = 208\,A$$

$$I_{cc} = I_{sec} \times \frac{100\%}{Z\%}$$

Calculando la corriente de cortocircuito máximo:

$$I_{CCmax} = 208 \times \frac{100}{4,6} = 4,5 \text{ kA}$$

Cálculo de la maya de puesta a tierra, para  $R \leq 5 \text{ ohm}$

### 6.2.3. Selección del conductor

$$A_c = I * \sqrt{\frac{33 * t}{\log \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}}$$

Dónde:

$A_c$  = es el área en mm.

$T$  = es el tiempo máximo en el cual fluye la corriente de falla 1 s

$T_m$  = temperatura máxima de fusión para el cobre es 1 084

$T_a$  = temperatura de ambiente de 30°

$$A_c = 4\,522 * \sqrt{\frac{33 * 1}{\log \left[ \frac{1\,084 - 30}{234 + 30} + 1 \right]}} = 31,086 \text{ cm}$$

$$1_{cm} = 5 * 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_c = 31\,086 * 5 * 10^{-4} = 15,54 \text{ mm}^2$$

Como calibre mínimo recomendado será # 2/0 con el objeto de mejorar la rigidez mecánica de la red de tierra.

#### 6.2.4. Elección de la malla

Dimensiones para la red de tierras, se utilizara 16 varillas de 5/8 por 8 pies, con una distancia de separación entre varillas de 3 metros a una profundidad de 0,7 mts.

- A= 9 m
- B= 9 m
- n= 4
- m= 4
  
- Longitud total del conductor:

$$L_{cond} = (n * A) + (m * B)$$
$$L_{cond} = (4 * 9) + (4 * 9) = 72 \text{ metros}$$

- Cálculo del factor  $K_m$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3 * 5 * 7 * \dots * (2n - 3)}{4 * 6 * 8 * \dots * (2n - 2)} \right]$$

Dónde:

$K_m$  = factor que depende del dimensionamiento de las maya.

D = espaciamiento entre conductores en la maya.

D = diámetro de los conductores.

H = profundidad del enterramiento del conductor.

N = número de conductores transversales paralelos.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{3^2}{16 * 0,7 * 0,0093} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3 * 5}{4 * 6} \right]$$

$$K_m = 0,560$$

- Cálculo del factor  $K_i$

$$k_i = 0,656 + 0,172n$$

- $K_i$  = factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.
- $n$  = número de conductores transversales paralelos.

$$k_i = 0,656 + 0,172(4)$$

$$K_i = 1.344$$

- Cálculo del factor  $K_s$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right]$$

Dónde:

$K_s$  = factor

$D$  = espaciamiento entre conductores en la maya

$h$  = profundidad de enterramiento del conductor

$n$  = número de conductores transversales paralelos

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * 0,70} + \frac{1}{3 + 0,70} + \frac{1}{2 * 4} + \frac{1}{3 * 3} \right]$$

$$K_s = 0,389$$

- Cálculo del voltaje de paso tolerable por el cuerpo humano

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Dónde:

$E_{PT}$  = Voltaje de paso tolerable para el cuerpo humano.

T = Duración máxima de la falla.

$\rho_s$  = Resistividad en la superficie del terreno.

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7(3,000)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{PT} = 2,216 \text{ V}$$

- Cálculo del voltaje de contacto tolerable por el cuerpo humano

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Dónde:

$E_{CT}$  = voltaje de contacto tolerable para el cuerpo humano.

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17(81)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{CT} = 626 \text{ V}$$

- Cálculo de voltaje de paso o de malla.

$$V_P = \frac{K_S * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Dónde:

- Vp = voltaje de paso o de malla.  
 LT = longitud total del conductor enterrado  
 KS = factor  
 Ki = factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra  
 p = resistividad del suelo  
 lcc = \*-corriente de corto circuito en amperios.

$$V_P = \frac{0,389 * 1,344 * 81 * 4\ 522}{72}$$

$$V_P = 2,660\ V$$

- Cálculo del voltaje de contacto o de malla.

$$V_C = \frac{K_m * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Dónde:

- Vc = voltaje de contacto o de malla.  
 Km = factor que depende del dimensionamiento de la maya.

$$V_c = \frac{0,560 * 1,344 * 81 * 4\,522}{72}$$

$$V_c = 3,829\text{ V}$$

### 6.2.5. Cálculo de la resistencia de la malla método de Schwarz

- Calculando la resistencia de tierra de los conductores de la malla.

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{\sqrt{d_c * h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$K_1 = -0,05 \frac{L_x}{L_y} + 1,2$$

$$K_2 = -0,1 \frac{L_x}{L_y} + 4,68$$

- Calculando  $K_1$  y  $K_2$ .

$$K_1 = -0,05 \frac{L_x}{L_y} + 1,2$$

$$K_1 = -0,05 \frac{12}{12} + 1,2 = 1,15$$

$$K_2 = -0,1 \frac{12}{12} + 4,68 = 4,78$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{\sqrt{d_c * h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$R_1 = \frac{81}{\pi * 96} \left[ \ln \left( \frac{2 * 96}{\sqrt{0,0093 * 0,6}} \right) + \frac{1,15 * 96}{\sqrt{144}} - 4,78 \right]$$

$$R_1 = 3,29 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de las varillas de tierra.

$$R_2 = \left( \frac{\rho}{2n\pi l_2} \right) \left[ \ln \left( \frac{8l_2}{d_2} \right) - 1 + 2K_1 \left( \frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Dónde:

n = número de varillas de tierra.

L<sub>2</sub> = longitud de varilla en m.

d<sub>2</sub> = diámetro de la varilla en m.

$$R_2 = \left( \frac{81}{2 * 16 * \pi * 2,4} \right) \left[ \ln \left( \frac{8 * 2,4}{0,016} \right) - 1 + 2 * 1,15 * \left( \frac{2,4}{\sqrt{144}} \right) (\sqrt{16} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 3,434 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

$$R_{12} = \frac{\rho}{l_1 \pi} \left[ \ln \left( \frac{2l_1}{l_2} \right) + K_1 \left( \frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

$$R_{12} = \frac{81}{96\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 * 96}{2,4} \right) + 1,15 \left( \frac{96}{\sqrt{144}} \right) - 4,78 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 2,633 \text{ Ohm}$$

- Empleando la siguiente ecuación para determinar la resistencia de la malla de tierra.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}}$$

Dónde:

$R_1$  = resistencia de tierra de los conductores de la malla en Ohm.

$R_2$  = resistencia de tierra de todas las varillas en ohm.

$R_{12}$  = resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y las varillas.

$$R_g = \frac{3,29 * 3,43 - 2,63^2}{3,29 + 3,43 - 2,63}$$

$$R_g = 1,06 \text{ Ohm}$$

Terminado de realizar los cálculos se obtiene un valor de resistencia aceptable de 1,06 Ohm es adecuado para el sistema, este es el diseño propuesto para el edificio del Bienestar Estudiantil.

### 6.3. Impedancia actual del edificio S-6

El edificio S-6 no cuenta con una red apropiada de tierra física para la protección de las personas y los equipos con que cuenta el inmueble, por esa razón en este trabajo se propone un diseño adecuado con un nivel de impedancia recomendado por el código de electrificación nacional NEC acorde a las necesidades del edificio.

### 6.3.1. Impedancia recomendada

La impedancia máxima para edificios es del 5 ohm, recomendado por el código de electrificación nacional NEC, con base en ese dato se inicia con un diseño, se realizó la medición de la resistividad del terreno y se obtuvo un valor de 63 ohm\*metro, con estos datos se trabajará para llegar a la impedancia recomendada.

### 6.3.2. Diseño propuesto para la red de tierras del edificio S6

A continuación, se muestra el diseño para la red de tierras del edificio S6.

Tabla LXIII. Valores nominales edificio S6

Valores nominales	
Potencia nominal	75 KVA
Número de fases	3
Impedancia	4,8 %
Voltajes primario	13,8 KV
Voltaje secundario	208/120 V
Corriente en el primario	3,14 A
Corriente en el secundario	208 V
Tiempo de la falla	1 seg.

Fuente: elaboración propia.

$$I_{sec} = \frac{75\,000}{\sqrt{3} * 208} = 208\,A$$

$$I_{cc} = I_{sec} \times \frac{100\%}{Z\%}$$

Calculando la corriente de cortocircuito máximo:

$$I_{CCmax} = 208 \times \frac{100}{4,6} = 4,5kA$$

Cálculo de la maya de puesta a tierra, para  $R \leq 5 \text{ ohm}$

### 6.3.3. Selección del conductor

$$A_c = I * \sqrt{\frac{33 * t}{\log \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}}$$

Dónde:

$A_c$  = es el área en mm.

$T$  = es el tiempo máximo en el cual fluye la corriente de falla 0,5 s

$T_m$  = temperatura máxima de fusión para el cobre es 1 084

$T_a$  = temperatura de ambiente de  $30^0$

$$A_c = 4\,522 * \sqrt{\frac{33 * 1}{\log \left[ \frac{1\,084 - 30}{234 + 30} + 1 \right]}} = 31\,085,86 \text{ cm}$$

$$1_{cm} = 5 * 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_c = 31\,085,86 * 5 * 10^{-4} = 15,54 \text{ mm}^2$$

Como calibre mínimo recomendado será # 2/0 con el objeto de mejorar la rigidez mecánica de la red de tierra.

### 6.3.4. Elección de la malla

Dimensiones para la red de tierras, se utilizara 9 varillas de 5/8 por 8 pies, con una distancia de separación entre varillas de 4 metros a una profundidad de 0,7 mts.

$$A = 6 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

$$n = 3$$

$$m = 3$$

Longitud total del conductor es:

$$L_{cond} = (n * A) + (m * B)$$

$$L_{cond} = (3 * 6) + (3 * 6) = 36 \text{ metros}$$

- Cálculo del factor  $K_m$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3 * 5 * 7 * \dots * (2n - 3)}{4 * 6 * 8 * \dots * (2n - 2)} \right]$$

Dónde:

$K_m$  = factor que depende del dimensionamiento de la maya.

$D$  = espaciamiento entre conductores en la maya.

$d$  = diámetro de los conductores.

$h$  = profundidad del enterramiento del conductor.

$n$  = número de conductores transversales paralelos.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{3^2}{16 * 0,7 * 0,0093} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3}{4} \right]$$

$$K_m = 0,618$$

- Cálculo del factor  $K_i$

$$k_i = 0,656 + 0,172n$$

- $K_i$  = factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.
- $n$  = número de conductores transversales paralelos.

$$k_i = 0,656 + 0,172(3)$$

$$K_i = 1,172$$

- Cálculo del factor  $K_s$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right]$$

Dónde:

$K_s$  = factor

$D$  = espaciamiento entre conductores en la maya

$h$  = profundidad de enterramiento del conductor

$n$  = número de conductores transversales paralelos

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * 0,70} + \frac{1}{3 + 0,70} + \frac{1}{2 * 3} \right]$$

$$K_s = 0,366$$

- Cálculo de tensiones de paso soportable por el cuerpo humano

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Dónde:

EPT = voltaje de paso tolerable para el cuerpo humano.

t = duración máxima de la falla.

ps = resistividad en la superficie del terreno.

$$E_{PT} = \frac{116 + 0,7(3\ 000)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{PT} = 2\ 216\ V$$

- Cálculo de las tensiones de contacto soportables por el cuerpo humano

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17\rho_s}{\sqrt{t}}$$

Dónde:

E<sub>CT</sub>= voltaje de contacto tolerable para el cuerpo humano.

$$E_{CT} = \frac{116 + 0,17(3\ 000)}{\sqrt{1}}$$

$$E_{CT} = 126,71\ V$$

- Cálculo de voltaje de paso o de malla.

$$V_P = \frac{K_S * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Dónde:

$V_p$  = voltaje de paso o de malla.

$L_T$  = longitud total del conductor enterrado

$K_S$  = factor

$K_i$  = factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra

$\rho$  = resistividad del suelo

$I_{cc}$  = corriente de corto circuito en amperios.

$$V_P = \frac{0,366 * 1,172 * 63 * 4\ 522}{36}$$

$$V_P = 3,394\ V$$

- Cálculo del voltaje de contacto o de malla.

$$V_c = \frac{K_m * K_i * \rho * I_{CC}}{L_T}$$

Dónde:

$V_c$  = voltaje de contacto o de malla.

$K_m$  = factor que depende del dimensionamiento de la maya.

$$V_c = \frac{0,618 * 1,172 * 63 * 4\ 522}{36}$$

$$V_c = 5,732\ V$$

### 6.3.5. Cálculo de la resistencia de la malla de tierra método de Schwarz

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{\sqrt{d_c * h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$K_1 = -0,05 \frac{L_x}{L_y} + 1,2$$

$$K_2 = -0,1 \frac{L_x}{L_y} + 4,68$$

- Calculando  $K_1$  y  $K_2$ .

$$K_1 = -0,05 \frac{L_x}{L_y} + 1,2$$

$$K_1 = -0,05 \frac{8}{8} + 1,2 = 1,15$$

$$K_2 = -0,1 \frac{8}{8} + 4,68 = 4,78$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{\sqrt{d_c * h}} \right) + \frac{k_1 l_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$R_1 = \frac{63}{\pi * 48} \left[ \ln \left( \frac{2 * 48}{\sqrt{0,0093 * 0,6}} \right) + \frac{1,15 * 48}{\sqrt{64}} - 4,78 \right]$$

$$R_1 = 3,876 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de las varillas de tierra.

$$R_2 = \left( \frac{\rho}{2n\pi l_2} \right) \left[ \ln \left( \frac{8l_2}{d_2} \right) - 1 + 2K_1 \left( \frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Dónde:

n = número de varillas de tierra.

L<sub>2</sub> = longitud de varilla en m.

d<sub>2</sub> = diámetro de la varilla en m.

$$R_2 = \left( \frac{63}{2 * 9 * \pi * 2,4} \right) \left[ \ln \left( \frac{8 * 2,4}{0,016} \right) - 1 + 2 * 1,15 * \left( \frac{2,4}{\sqrt{64}} \right) (\sqrt{9} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 4,108 \text{ ohm}$$

- Calculando la resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas.

$$R_{12} = \frac{\rho}{l_1 \pi} \left[ \ln \left( \frac{2l_1}{l_2} \right) + K_1 \left( \frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

$$R_{12} = \frac{63}{48\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 * 48}{2,4} \right) + 1,15 \left( \frac{48}{\sqrt{64}} \right) - 4,78 + 1 \right]$$

$$R_{12} = 2,845 \text{ Ohm}$$

- Empleando la siguiente ecuación para determinar la resistencia de la maya de tierra.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}}$$

Dónde:

$R_1$  = Resistencia de tierra de los conductores de la malla en Ohm.

$R_2$  = Resistencia de tierra de todas las varillas en Ohm.

$R_{12}$  = Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y las varillas.

$$R_g = \frac{3,876 * 4,108 - 2,845^2}{3,876 + 4,108 - 2,845}$$

$$R_g = 1,52 \text{ Ohm}$$

Terminado de realizar los cálculos se obtiene un valor de resistencia aceptable de 1,52 Ohm es adecuado para el sistema, este es el diseño propuesto para el edificio S-6.



## CONCLUSIONES

1. Con base en lo realizado es importante realizar los cambios sugeridos para los edificios, para el buen funcionamiento del mismo.
2. En las inspecciones visuales que se realizó al sistema eléctrico se puede concluir que existe deficiencia en el mantenimiento preventivo, ya que se pudo observar que existe corrosión entre el conductor y los bornes de los tableros, esto es una limitante para el buen funcionamiento de las cargas conectadas.
3. En el estudio se verificó la falta de una red de tierra física para proteger al personal y los recursos con que cuenta el inmueble, actualmente no cuenta con una malla de protección.
4. Los elementos eléctricos utilizados se encuentran dimensionados apropiadamente, se considerando que los circuitos que conforman la instalación del edificio no han sufrido considerables aumentos de carga.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo al sistema eléctrico, para evitar interrupciones que afecten las actividades educativas como también administrativas.
2. Implementar la red de puesta a tierra para los edificios, así proteger a las personas y los equipos, ya que actualmente no se cuenta con un sistema.
3. Implementar una interruptor principal con capacidad de 225 A para el tablero principal, esto como protección general para el edificio S-6 ya que actualmente no se cuenta con la protección.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución, NTSD*. Guatemala: CNEE, 1999. 160 p.
2. MARROQUIN JUÁREZ, Josué René. *Procedimiento para el estudio de la calidad de la potencia eléctrica en el sector textil de Guatemala para reducción de costos de operación y mantenimiento en esta industria*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 520 p
3. HARPER, Enrique. *Manual de instalaciones residenciales*. México: Limusa, 1989. 86 p.
4. DÍAZ, Páblo. *Soluciones prácticas. Para la puesta a tierra de sistema eléctrico de distribución*. México: McGraw-Hill, 2007. 153 p.
5. República de México. *NOM-001-SEDE-2005. Instalaciones eléctricas*. México: ISA S. A., 2005. 784 p.
6. República de México. *Norma NEC*. México: ISA S. A., 2008. 180 p.
7. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Curso eficiencia energética*.
8. ANSI / IEEE STD. *IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding*.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Capacidad de conductores

Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal		Calibre conductor AWG o MCM	Área transversal	
	CM	Mm <sup>2</sup>		CM	mm <sup>2</sup>
14	4110	2,1	350		177,0
12	6530	3,3	400		203,0
10	10380	5,3	450		228,0
8	16510	8,4	500		253,0
6	26240	13,3	550		279,0
4	41740	21,2	600		304,0
2	66360	33,6	650		329,0
1/0	105600	53,5	700		355,0
2/0	133100	67,4	750		380,0
3/0	167800	85,0	800		405,0
4/0	211600	107,2	900		456,0
250		127,0	1 000		507,0
300		152,0			

Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)		Calibre AWG o MCM	Capacidad de conducción (amperios)	
	60 °C	75 °C		60 °C	75 °C
	TW	THW		TW	THW
14	20	20	250	215	255
12	25	25	300	240	285
10	30	35	350	260	310
8	40	50	400	280	335
6	55	65	500	320	380
4	70	85	600	355	420
2	95	115	700	385	460
1/0	125	150	750	400	475
2/0	145	175	800	410	490
3/0	165	200	900	435	520
4/0	195	230	1 000	455	545

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Dimensiones típicas de los conductores de puesta a tierra**

CALIBRE DEL CONDUCTOR		AREA NOMINAL mm <sup>2</sup>	DIAMETRO m
MCM	AWG		
350		177,35	0,015
300		152,01	0,0139
250		126,68	0,0127
211,6	4/0	107,22	0,0117
167,8	3/0	85,03	0,0104
133,1	2/0	67,44	0,0093

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 3. Tablero principal edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 4. Edificio Bienestar Estudiantil**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Edificio S6**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Edificio Bienestar Estudiantil, capacidad de conductores**



Fuente: elaboración propia.