



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

**ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y
PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES PARA AHORRO ENERGÉTICO DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

José Miguel Dávila Soto

Asesorado por el Ing. Luis Estuardo Hernández Mejía

Guatemala julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y
PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES PARA AHORRO ENERGÉTICO DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ MIGUEL DÁVILA SOTO

ASESORADO POR EL ING. LUIS ESTUARDO HERNÁNDEZ MEJIA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdoba 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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdoba Estrada
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y
PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES PARA AHORRO ENERGÉTICO DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

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

José Miguel Dávila Soto

Guatemala 27 de abril del 2022.

Ingeniero Luis Hernandez
Asesor

Reciba usted un cordial saludo, esperando que todas sus actividades sean exitosas.

Hago de su conocimiento que estoy de acuerdo con el trabajo realizado por el estudiante José Miguel Dávila Soto, de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, quien se identifica con CUI: 2519452430101 y Registro Académico: 2003132/U.

Por lo anterior extiendo el presente FINIQUITO. Sin otro particular me suscribo.

Atentamente,



Luis Estuardo Hernández Mejía
Ingeniero Electricista
Colegiado 11599

Luis E. Hernández Mejía
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 11,599

Ingeniero Electricista
Luis Hernández Mejía
Tel. 5358 2638
e-mail: iehm01@hotmail.com

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 13 de mayo de 2022.
REF.EPS.DOC.196.05.2022.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.


Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Miguel Dávila Soto** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **200313270** y CUI **2519 45243 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PÁNELES SOLARES PARA EL AHORRO ENERGÉTICO 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. Nathanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala 13 de mayo de 2022.

REF.EPS.D.168.05.2022.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo,

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PÁNELES SOLARES PARA EL AHORRO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" que fue desarrollado por el estudiante universitario, José Miguel Dávila Soto, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Luis Eduardo Hernández Mejía y supervisado por el Ing. Natanael 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 y 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



REF. EIME 39.2022.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Director de EPS, del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al Informe final de EPS del estudiante José Miguel Dávila Soto: **"ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PÁNELES SOLARES PARA EL AHORRO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 26 de mayo de 2022.



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.502.2022

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: **ANÁLISIS Y MEDICIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO CUM Y PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES PARA AHORRO ENERGÉTICO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: José Miguel Dávila Soto, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

The signature of Aurelia Anabela Cordova Estrada is written in blue ink over a circular official stamp. The stamp contains the text 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA' and 'DECANA FACULTAD DE INGENIERIA'.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada *

Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/igaoc

B v

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ayudarme a llegar a este momento y no dejarme nunca.
Mis padres	Miguel Dávila y Marta Soto, por su esfuerzo, dedicación, amor incondicional y por siempre apoyarme a seguir adelante.
Mi esposa	Sindy Godínez, por ser la influencia más importante en mi carrera y en mi vida, en su amor incondicional y su apoyo en los momentos más difíciles de mí de vida, porque sin ella no estaría acá.
Mis hijos	José y Pablo Dávila, por ser los pilares y luz de mi vida.
Mi familia	Por siempre estar a mi lado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de ser el profesional
que soy hoy en día.

Facultad de Ingeniería

Por darme el conocimiento para ser alguien
importante en la vida.

Mis amigos

Por siempre apoyarme a seguir adelante y
nunca dejarme solo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	1
1.1. La Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Reseña histórica	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Servicios que presta	4
1.1.6. Estructura organizacional	4
1.1.7. Centro Universitario Metropolitano CUM	6
2. FASE DE INVESTIGACIÓN	9
2.1. Normas relacionadas con calidad de la potencia eléctrica	9
2.1.1. Voltajes armónicos	14
2.1.2. Normas NTSD de la CNEE Corrientes Armónicas.....	16
2.1.3. NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución) sobre <i>flicker</i>	21

2.2.	Eventos relacionados con calidad de la potencia eléctrica	27
2.2.1.	Variaciones de estado estable	27
2.2.2.	Variaciones lentas de voltaje.....	27
2.2.3.	Armónicos	28
2.2.4.	<i>Flicker</i>	28
2.2.5.	Desbalance	29
2.2.6.	Perturbaciones	29
2.2.7.	Interrupciones.....	31
2.2.8.	<i>Sags</i>	31
2.2.9.	<i>Swells</i>	31
2.2.10.	Transitorios.....	32
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	33
3.1.	Diagnóstico del edificio CUM	33
3.1.1.	Planos eléctricos	33
3.1.2.	Tensión de servicio	42
3.1.3.	Ramales instalados	43
3.1.4.	Material instalado	44
3.1.5.	Tableros eléctricos	44
3.1.6.	Protecciones eléctricas.....	46
3.2.	Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejora en la calidad de la potencia eléctrica.....	50
3.2.1.	Factor de potencia.....	61
3.2.2.	Distorsión armónica.....	63
3.2.3.	Frecuencia.....	64
3.3.	Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejorar en el tema de la eficiencia energética	66

3.4.	Análisis de consumo y facturación actual y detecciones de oportunidades de mejora	68
3.5.	Diseño y cálculo de propuesta de mejoras a la calidad de potencia eléctrica.....	74
3.6.	Diseño y cálculo de propuesta de mejoras en eficiencia energética.....	76
3.6.1.	Diseño del generador fotovoltaico	78
3.6.1.1.	Número de paneles en serie.....	81
3.6.1.2.	Número de filas en paralelo	83
3.6.1.3.	Número de inversores	84
3.6.1.4.	Ángulo de inclinación de los paneles ...	88
3.6.1.5.	Distancia entre filas de paneles	89
3.6.1.6.	Estructuras.....	92
3.6.1.7.	Conexión del sistema hacia el tablero.....	94
3.6.1.8.	Requisitos para conexión del sistema a la red	96
3.6.1.9.	Mantenimiento para paneles solares .	101
4.	FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE.....	103
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación	103
4.2.	Propuesta de capacitación	104
4.3.	Recursos para la capacitación.....	104
4.4.	Prctica propuesta.....	105
4.5.	Evaluación de la capacitación	110
4.6.	Costos de la propuesta.....	112
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	115

BIBLIOGRAFÍA..... 117
APÉNDICES..... 119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la universidad	5
2.	Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores.....	14
3.	Forma de onda de corriente en a) variador de velocidad de CA b) balastra magnética.....	15
4.	Curva de espectro <i>Swell</i>	32
5.	Diagrama unifilar de la red eléctrica general	34
6.	Diagrama unifilar, primer nivel edificio A, tablero secundario A1	35
7.	Diagrama unifilar, primer nivel edificio A, subtablero A1'	36
8.	Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, tablero secundario A2.....	37
9.	Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, subtablero A2'	38
10.	Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, tablero secundario B1	39
11.	Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, subtablero B1'	40
12.	Diagrama unifilar, segundo nivel edificio B, tablero secundario B2.....	41
13.	Tensión	43
14.	Tablero de distribución principal, Edificio A-B	44
15.	Tablero de distribución principal, Edificio A-B	45
16.	Flipón principal Edificio C-D	45
17.	Flipón principal, Edificio C-D	46
18.	Distorsión armónica.....	51
19.	Factor de potencia.....	52
20.	Potencia aparente máxima.....	52
21.	Tensión	54
22.	Corriente	55

23.	Gráfica de medición de tensión	57
24.	Consumo Edificio A – B	68
25.	Consumo Edificio A – B	69
26.	Consumo Edificio C – D.....	71
27.	Consumo Edificio C - D.....	72
28.	Comparación de valores obtenidos vs. valores permitidos	74
29.	Consumo A_B 2021	77
30.	Funcionamiento de sistemas de generación híbridos	79
31.	Análisis económico	87
32.	Dimensiones de altura y base del panel solar.....	89
33.	Distancia mínima entre filas	90
34.	Dimensiones para el cálculo de ROT y GCR	91
35.	Pata de la estructura.....	93
36.	Colocación simétrica de los tendales y los paneles en la estructura	94
37.	Conexión de sistema a la red	95
38.	Área disponible: 1500 m2 en Edificio B	95
39.	Formulario para autoproducidos con excedente de energía.....	99
40.	Capacitación de mantenimiento preventivo	106

TABLAS

I.	Tolerancias para distorsión armónica de tensión	10
II.	Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga.....	18
III.	Tolerancias para el <i>flicker</i> generado por el usuario	24
IV.	Clasificación de perturbaciones de calidad de energía eléctrica según su duración	30
V.	Análisis de datos CUM.....	50
VI.	Resumen de eventos de corriente AB	56
VII.	Resumen de eventos de corriente CD	56

VIII.	Resumen de eventos de tensión edificio A-B.....	57
IX.	Resumen de eventos de tensión edificio C-D	58
X.	Resumen de eventos de potencia activa AB.....	59
XI.	Resumen de eventos de potencia activa CD	59
XII.	Resumen de eventos de potencia reactiva AB.....	60
XIII.	Resumen de eventos de potencia reactiva CD	60
XIV.	Resumen de eventos de potencia aparente AB	61
XV.	Resumen de eventos de potencia aparente CD.....	61
XVI.	Resumen de eventos de factor de potencia AB	62
XVII.	Resumen de eventos de factor de potencia CD.....	62
XVIII.	Resumen de eventos de distorsión armónica de tensión AB	63
XIX.	Resumen de eventos de distorsión armónica de tensión CD.....	63
XX.	Resumen de eventos de frecuencia AB	64
XXI.	Resumen de eventos de frecuencia CD.....	64
XXII.	Resumen de eventos de flicker pst AB	65
XXIII.	Resumen de eventos de flicker pst CD	65
XXIV.	Resumen de eventos de <i>flicker</i> plt AB	66
XXV.	Resumen de eventos de <i>flicker</i> plt CD	66
XXVI.	Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejorar en el tema de la eficiencia energética	67
XXVII.	Precio por kWh.....	70
XXVIII.	Consumo de energía	73
XXIX.	Arreglo de paneles	85
XXX.	Resultados obtenidos.....	86
XXXI.	Valores recomendados para ROT y GCR	92
XXXII.	Características de los paneles y de inversores cotizados	101

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m^2	Metro cuadrado
Ohm	Ohmio
ohm-m	Ohmio metro
Q	Quetzales
V	Voltios
W	Watts
Wh	Watt-hora

GLOSARIO

Acometida eléctrica	Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la protección principal o medidor de energía de la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Corriente eléctrica	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones), en el interior del mismo.
Difusor	Carcasa o pantalla que encierra la lámpara. Se usa para difundir el haz de luz y evitar deslumbramiento.
Eficiencia energética	Optimización de la relación entre el consumo de energía total y el consumo de energía útil.
Energía	La energía es la capacidad que posee un cuerpo para realizar una acción o trabajo, o producir un cambio o una transformación, y es manifestada cuando pasa de un cuerpo a otro.

Factor de potencia	Se define factor de potencia, f.d.p. de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.
Interruptor	Un interruptor eléctrico es un dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica.
Línea	Se denomina fase a la intensidad o el valor de la fuerza electromotriz, en un cierto momento, de una corriente alterna.
Lumen	El lumen (símbolo: lm), es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.
Lux	Es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m ² . Se usa en la fotometría como medida de la iluminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad del ojo humano a la luz.

Monofásico	En ingeniería eléctrica, un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma.
NEC	<i>National Electrical Code.</i>
Neutro	Hilo o cable conductor que parte del centro de la estrella de una fuente o alternador polifásicos conectados en estrella.
NTSD	Norma Técnica del Servicio de Distribución.
Potencia eléctrica	Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. Es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.
Ramal	Parte de un sistema eléctrico que incluye el dispositivo final de sobrecorriente, como un fusible, protegiendo el circuito y las tomas de corriente que proporciona el circuito.
TDP	Tablero de Distribución Principal.

Tierra física

La tierra física es un sistema de protección o seguridad de todas las instalaciones eléctricas. Todos los sistemas eléctricos generan cargas que deben de ser liberadas para no dañar los equipos o a las personas.

Voltaje

El voltaje es la magnitud física que, en un circuito eléctrico, impulsa a los electrones a lo largo de un conductor. Es decir, conduce la energía eléctrica con mayor o menor potencia.

RESUMEN

El trabajo consiste en un análisis del sistema de potencia del edificio el CUM de la Universidad de San Carlos, con el trabajo se pretende encontrar problemas que puedan estar ocasionando un alto consumo de energía eléctrica, y por consiguiente una alta factura eléctrica, en el mismo se propondrán posibles soluciones a los problemas que se puedan encontrar, y una propuesta para la implementación de paneles solares para los edificios.

Para que el área de servicios generales pueda tomar como base el presente estudio y buscar maneras más eficientes de ahorro de energía en estos edificios siempre buscando nuevas tecnologías protegiendo siempre el ambiente como puede ser una propuesta de utilización de paneles solares que ahorraría la utilización de otro tipo de tecnología y ayudaría a generar energía más limpia a través de nuevas tecnologías.

Se pretende analizar si la calidad de energía que actualmente se demanda en estos edificios es la adecuada según los espacios que se tienen disponibles, y puede ser que actualmente no se estén utilizando adecuadamente. Es importante medir cómo y cuánto afecta la demanda de cada edificio en los distintos parámetros eléctricos y su repercusión en la red eléctrica.

Se debe de tener claro que actualmente la universidad puede contar con sobrepoblación en estos edificios y puede ser que la cantidad de energía que se tenga utilizando no sea la adecuada y con este proyecto se busca evaluar, medir e interpretar los resultados que se tengan para la población y los edificios.

OBJETIVOS

General

Analizar, medición del sistema de potencia eléctrica del edificio CUM y propuesta de utilización de paneles solares para el ahorro energético.

Específicos

1. Analizar de los equipos instalados en los edificios del CUM.
2. Medir e interpretar los resultados obtenidos en la medición del sistema de potencia.
3. Realizar una propuesta de una mejora del sistema de potencia eléctrico.
4. Proponer la utilización de paneles solares para un ahorro energético.
5. Comparar el ahorro energético con la utilización de paneles solares en los edificios del CUM.

INTRODUCCIÓN

La Universidad de San Carlos de Guatemala una institución que consta de varios edificios que son lugares de estudio, pretende realizar un análisis, medición de los edificios y de su sistema de potencia eléctrica, todos los edificios de la universidad están a cargo del departamento de Servicios de Gerencia, este dará la autorización para la realización de dicho estudio, que tendrá como referencia las normas que permite la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Cada dispositivo o sistema en una o varias de sus etapas está accionado por energía eléctrica, que consiste en procesos que transforman energía eléctrica en otro tipo de energía o en el mismo tipo, pero con diferentes características. Todo esto se realiza a través de un sistema de potencia que se analizará en los edificios del CUM, con estas acciones se busca la mejora en la generación de energía, esto implica una mejora en la calidad del servicio relacionada directamente, con la continuidad en el servicio y la calidad de la onda de tensión, buscando mejorar la generación de energía y la calidad del servicio que se relaciona con la continuidad de la onda de tensión.

Se pretende hacer un análisis y medición de los edificios en el CUM, para evaluar, interpretar y proponer mejoras del sistema de energía eléctrica de potencia actual y buscar un ahorro energético dentro de los mismos edificios. Todo se realizará a través de equipos especializados para la medición del sistema de potencia.

1. HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

La Universidad de San Carlos de Guatemala es el lugar donde se va a desarrollar el proyecto de graduación, que se describe a continuación.

1.1. La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala con más de 300 años, cuenta con 42 carreras a nivel técnico, 36 profesorados, 99 carreras a nivel licenciatura, 24 especializaciones, 35 maestrías y 6 doctorados: posee 18 centros universitarios, 10 facultades, 8 escuelas, 2 institutos otorgando las diferentes carreras técnicas y profesorados, licenciaturas, post grados y especialidades.¹

1.1.1. Antecedentes

La Universidad de San Carlos de Guatemala fue fundada por la Real Cédula de Carlos II, el 31 de enero de 1676. Logrando categoría internacional al ser declarada Pontificia por La Bula del Papa Inocencio XI, emitida con fecha 18 de junio de 1687.

Desde la época colonial sus aulas albergaron a criollos, españoles e indígenas, teniendo orgullosamente entre sus primeros graduandos a personas de origen indígena y de extracción popular, contando también desde los primeros decenios de su existencia con representantes que el país recuerda con orgullo, como el doctor Felipe Flores, que sobresalió con originales inventos y teorías que se anticiparon a muchas de ulterior triunfo en Europa. El doctor Esparragoza y Gallardo, que puede considerarse un extraordinario exponente de la cirugía científica, y en el campo del derecho, la figura del doctor José María Álvarez, autor de las renombradas Instituciones de Derecho Real de Castilla y de Indias, publicadas en 1818.

¹ Universidad de San Carlos de Guatemala. *Facultades USAC*.www.usac.edu.gt. Consulta: enero de 2022.

La universidad luchó por su autonomía y la logró con fecha 9 de noviembre de 1944, decretada por La Junta Revolucionaria de Gobierno. Con ello se restableció el nombre tradicional de la Universidad de San Carlos de Guatemala y se le asignaron rentas propias para lograr un respaldo económico.

La Constitución de Guatemala emitida en 1945 consagró como principio fundamental la autonomía universitaria y el Congreso de La República complementó las disposiciones de La Carta Magna con la emisión de una Ley Orgánica de La Universidad y una Ley de Colegiación obligatoria para todos los graduados que ejerzan su profesión en Guatemala. Desde septiembre de 1945 funciona como entidad autónoma con autoridades elegidas por un cuerpo electoral y se procede conforme el precepto legal establecido en su Ley Orgánica. Estableció como su misión, en su carácter de única universidad estatal, que 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 en el estudio y solución de los problemas nacionales.

Su fin fundamental es elevar el nivel espiritual de los habitantes de La República, conservando, promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico. Contribuirá a la realización de la unión de Centro América y para tal fin procurará el intercambio de académicos, estudiantes y todo lo que tienda a la vinculación espiritual de los pueblos del istmo.²

1.1.2. Reseña histórica

Para la sociedad española de la ciudad de Guatemala, la instauración de la Universidad fue un acontecimiento memorable. Sin embargo, para su organización se requirió una serie de actividades que hicieron que entrara en uniones hasta 1681. El juez superintendente y primer rector provisional fue el fiscal de la Real Audiencia, Juan Bautista Urquiola y Elorriaga, graduado en Salamanca. A los dominicos les fue expropiado el edificio del colegio Santo Tomás, se remodeló y se instaló un escudo real en la fachada.

Se abrieron siete cátedras: teología, escolástica, teología moral, cánones, leyes, medicina y dos idiomas indígenas. A éstas, Urquiola añadió las cátedras de instituta, que consistía en fundamentos legales, y artes, que incluía gramática, dialéctica, retórica, aritmética, geometría, astronomía y música. Entre 1677 y 1678 se agrió la oposición para cátedras en México, Puebla y Guatemala. Las oposiciones se realizaron en la Universidad de México, donde uno de los examinadores, el oidor, es decir juez de la Real Audiencia, Francisco Gárate y Francia había sido oidor en Guatemala. Hubo un total de 33 candidatos. Fueron electos siete residentes en Guatemala y uno de México, el de medicina. El catedrático de Kaqchikel fue el fraile dominico José Ángel Cenollo.

² Universidad de San Carlos de Guatemala. *Historia USAC*. www.usac.edu.gt/historia. Consulta: enero de 2022.

Sin embargo, por problemas en la convocatoria, el rey suprimió la elección y se nombró catedráticos interinos en 1680, por lo que las clases empezaron hasta 1681. En la mañana, se leían las cátedras de teología y cánones, de 7 a 8 horas; leyes, de 8 a 9; medicina y artes de 9 a 10, y de kaqchikel, de 10 a 11. La lectura consistía en que el catedrático dictaba un tema que los alumnos debían memorizar. Por la tarde, se leía teología e instituta, de 15 a 16; y artes de 16 a 17. Cada cierto tiempo se realizaba una disputa, es decir un debate entre los estudiantes, utilizando los argumentos que aparecían en los libros de los autores de la biblioteca. Todas las clases se daban en latín y, en caso de los idiomas indígenas, era la enseñanza de que correspondiera.

Hubo un total de 60 estudiantes inscritos en las primeras clases, 7 de teología, 36 de artes y 17 kaqchikel.

En 1686 se ordenó que se hicieran oposiciones para catedráticos en España, en las Universidades de Salamanca, Valladolid y Alcalá de Henares. Ese mismo año, asumió el cargo de primer rector, el doctor José de Baños y Sotomayor, nombrado por el rey y uno de los principales promotores de la Universidad. Para entonces se habían graduado dos generaciones de bachilleres. El abogado Francisco de Sarassa y Arce fue el encargado de elaborar las Constituciones y Estatutos de la Universidad, para lo que tomó de modelo las constituciones de la Universidad de Salamanca y la de México.

Por último, en 1687, el Papa Inocencio Undécimo otorgó a la Universidad el título de Pontificia, con lo que sus egresados estaban al mismo nivel que los de los centros educativos de Europa. El primer graduado como doctor fue Lorenzo Pérez Dardón en 1688. Así inició la vida universitaria en Guatemala.³

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.⁴

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

³ Universidad de San Carlos de Guatemala. *Historia de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 6.

⁴ Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de la organización*. p. 3.

recursos óptimamente utilizados para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.⁵

1.1.5. Servicios que presta

Dentro de los servicios que presta se indican los siguientes.

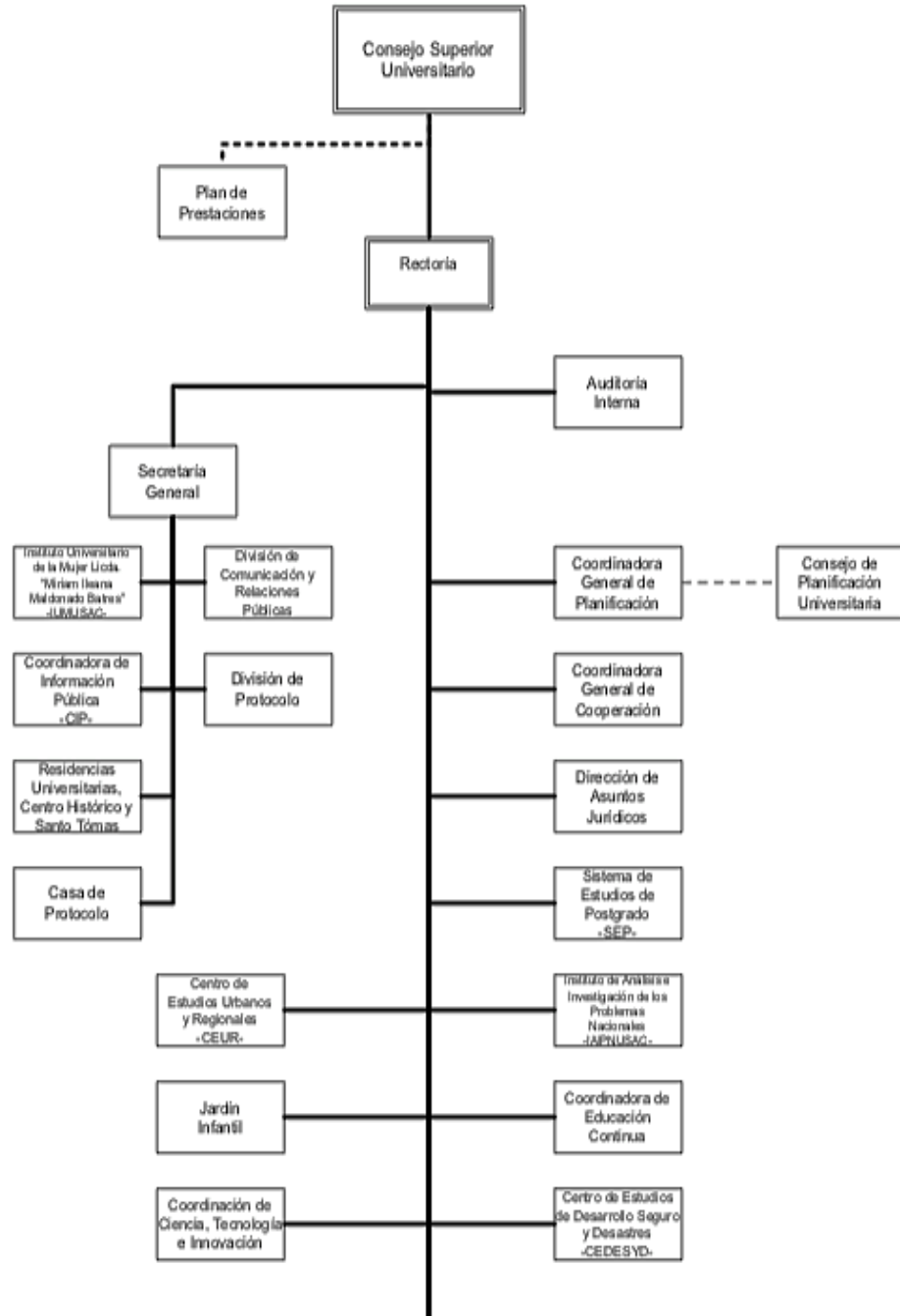
- Biblioteca Central
- Biblioteca César Brañas
- Casa de la Cultura Flavio Herrera
- Ciclovía
- Clínica Dental
- Club Deportivo Los Arcos
- CUM
- Hospital Veterinario
- Jardín Botánico
- Jardín Infantil
- Laboratorio Clínico Popular
- Laboratorio de impresión 3D
- Paraninfo
- Quioscos informativos
- Residencias Universitarias
- Transporte Interno, Unidad de Salud

1.1.6. Estructura organizacional

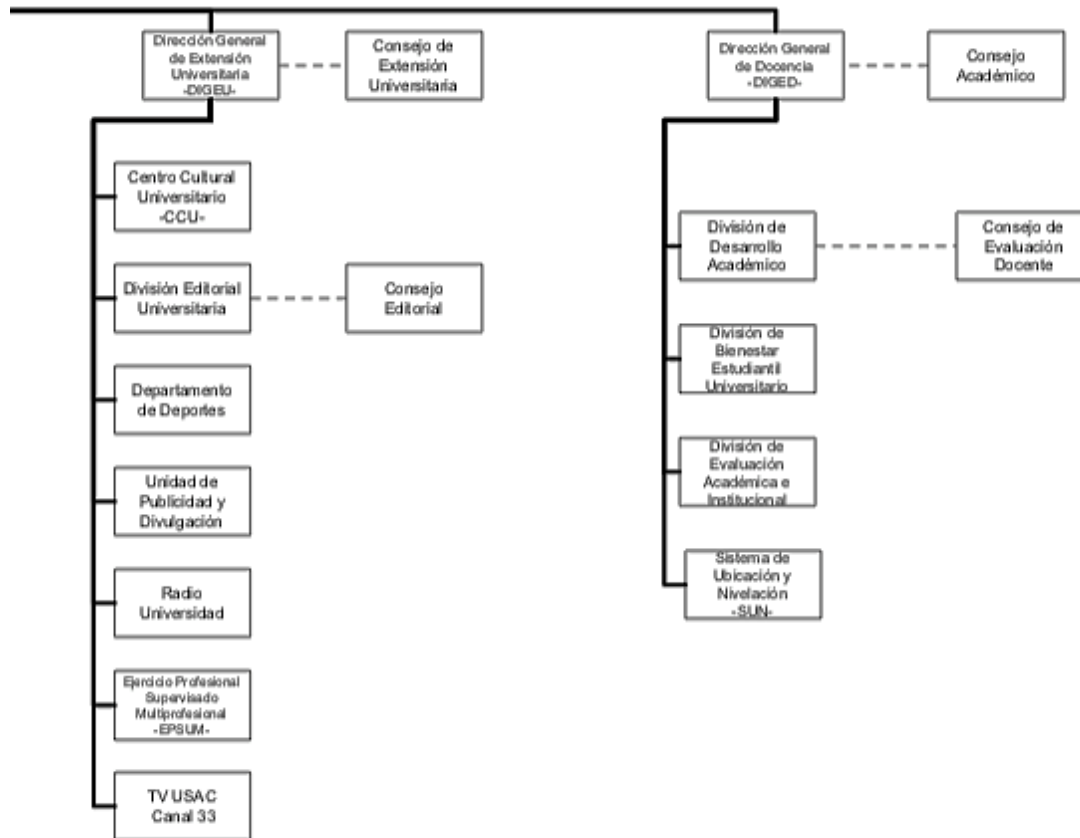
El diseño de la estructura organización de la universidad es posible observarlo en la figura 1.

⁵ Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de la organización*. p. 3.

Figura 1. Organigrama de la universidad



Continuación de la figura 1.



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de la organización*. p. 9.

1.1.7. Centro Universitario Metropolitano CUM

“La Facultad de Ciencias Médicas fue creada conjuntamente con la Universidad de San Carlos de Guatemala, por Real Cédula del Rey Carlos II, el 31 de enero de 1676. Inicia actividades académicas el 20 de octubre de 1681.”⁶

⁶ Universidad de San Carlos de Guatemala. *Historia de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 12.

La Facultad de Ciencias Médicas es la Unidad Académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encargada de formar profesionales en las carreras de médicos generales, de las diferentes especialidades, maestrías y doctorados en medicina, y enfermería de acuerdo a necesidades y condiciones del contexto epidemiológico del país.

Desarrolla programas de investigación e innovación científico-tecnológica de docencia y servicio. Apoya la solución de los problemas de salud a nivel nacional.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se desarrollará la evaluación de diferentes normas, eventos relacionados con calidad de la potencia eléctrica para el área del CUM.

2.1. Normas relacionadas con calidad de la potencia eléctrica

La Norma Técnica de Servicio de Distribución (NTSD), fue emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), en los siguientes párrafos se describen los artículos 2, 31, 32, 33, 34 y 35 de las normas NTSD de la CNEE sobre voltaje con la finalidad de dar aplicación a cada uno de ellos.

Artículo 2. Objetivo de las Normas. El objetivo de estas normas es establecer derechos y obligaciones de los prestatarios y usuarios del servicio eléctrico de distribución, índices o indicadores de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el punto de entrega como en el punto de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, Indemnizaciones, sanciones y multas, respecto de los siguientes parámetros:

Artículo 31. Índice de Calidad de la Distorsión Armónica de la Tensión, expresado como un porcentaje, y se calcula utilizando las fórmulas indicadas a continuación:

Ecuaciones:

$$\text{DATT (\%)} = (\sqrt{\sum Vi^2 / V1^2}) \times 100$$

$$\text{DAIT (\%)} = (Vi / V1)$$

- Donde:
 - DATT: Distorsión Armónica Total de Tensión
 - DAIT: Distorsión Armónica Individual de Tensión

Artículo 32. Tolerancias para la Distorsión Armónica de Tensión.

Tabla I. **Tolerancias para distorsión armónica de tensión**

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE TENSION, DAIT [%]	
	BAJA Y MEDIA TENSION V≤60 kV	ALTA TENSION 60Kv<V≤ 230 kV
IMPARES NO MULTIPLOS DE 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7

Continuación de la tabla I.

> 25	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$
IMPARES MULTIPLoS DE 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
PARES		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.2
DISTORSION ARMONICA TOTAL DE TENSION, DATT, EN %	8	3

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*.
p. 33.

Artículo 32. NTSD Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al período de medición, las mediciones muestran que la distorsión armónica de tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas. una medición de distorsión armónica de tensión es considerada fuera de las tolerancias establecidas, si se excede el valor de la distorsión armónica individual o el valor de la distorsión armónica total. Para propósitos de evaluación de estas normas se considerará, inclusive, hasta la armónica de orden 40.

Artículo 33. Control para la Distorsión Armónica de la Tensión. El control se realiza a través de cuatro mediciones mensuales, realizadas en los bornes de baja tensión de los 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. De acuerdo con la Norma IEC 1000-4-7, deberán ser tomadas mediciones de la distorsión armónica total de tensión y de la distorsión armónica individual de tensión. La medición de armónicas comenzará a partir del inicio de la etapa de transición. De los resultados obtenidos durante los dos primeros años de medición, se determinará si es necesaria alguna modificación para evaluar la distorsión armónica en la tensión.

Artículo 34. Indemnización por Distorsión Armónica de la Tensión. Los distribuidores deberán Indemnizar a sus usuarios por aquellos servicios en los que se compruebe que las condiciones de distorsión armónica han excedido las tolerancias establecidas en el artículo 32 de estas normas, y se mantendrá hasta que se compruebe en forma fehaciente que el problema ha sido resuelto.

La indemnización está basada en función de las desviaciones por encima de las tolerancias establecidas para los índices o indicadores DAIT y DATT, y la energía suministrada en esas condiciones. Se define como (DPAk), a la distorsión armónica encontrada en cada intervalo de medición k, por encima de las tolerancias establecidas, según la siguiente expresión:

$$DPAk = \text{Max} \left[0, \frac{D_{ATT(k)} - D_{ATT}}{D_{ATT}} \right] + \frac{1}{3} \sum_2^{40} \text{Max} \left[0, \frac{D_{DAIT_i(k)} - D_{DAIT_i}}{D_{DAIT_i}} \right]$$

- Donde:
 - DPAk: es la distorsión penalizable de armónicas para cada intervalo de medición k.

- D ATT(k): es la distorsión armónica total de tensión, registrada en el intervalo de medición k.
- D ATT: es la tolerancia para la distorsión armónica total de tensión, establecida en el artículo 32 de estas normas.
- D AITi(k): es la distorsión armónica individual de tensión i, registrada en el intervalo de medición k.
- D AITi: es la tolerancia para la distorsión armónica individual de tensión i, establecida en el artículo 32 de estas normas.

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

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

La indemnización se determina como:

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

- Donde:
 - E(k): Energía registrada en cada intervalo de medición k.

Artículo 35. Elegibilidad para la Indemnización por Distorsión Armónica en la Tensión. Solamente los usuarios afectados conectados al punto de medición donde se excedan las tolerancias por distorsión armónica serán

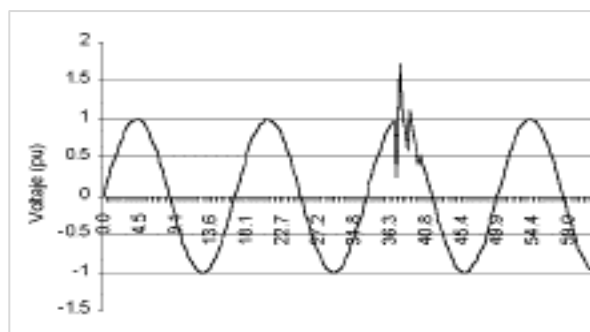
indemnizados, a excepción de aquellos que sean los que están generando los armónicos del problema y que superen las tolerancias establecidas en estas normas.

2.1.1. Voltajes armónicos

“Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal, se dice que la señal está distorsionada.”⁷

- La distorsión puede deberse a:
 - Fenómenos transitorios como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito entre otras.

Figura 2. Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores

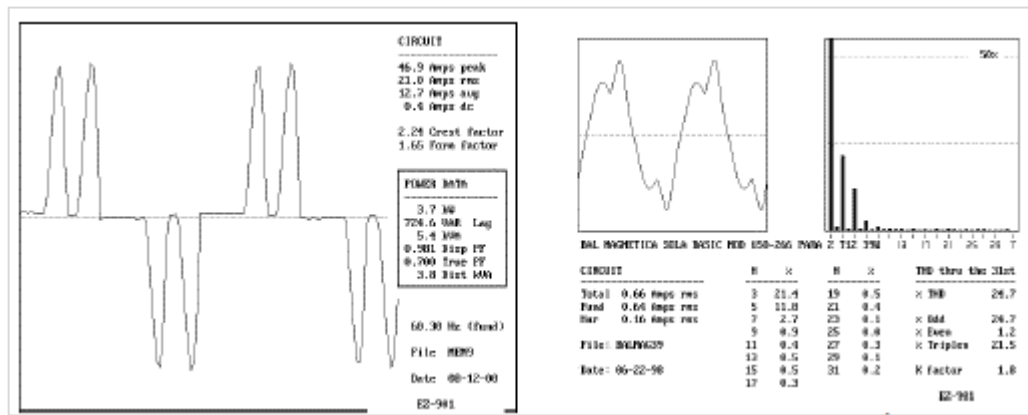


Fuente: TELLEZ, Eugenio. *Distorsión armónica*. p. 3.

⁷ TELLEZ, Eugenio. *Distorsión armónica*. p. 3.

- Condiciones permanentes que están relacionadas con armónicas de estado estable. En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema.

Figura 3. **Forma de onda de corriente en a) variador de velocidad de CA b) balastra magnética**



Fuente: TELLEZ, Eugenio. *Distorsión armónica*. p. 4.

- **Características de la distorsión armónica**

Cuando la onda de corriente o de tensión medida en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada, con relación a la onda sinusoidal que idealmente se debería encontrar, se dice que se trata de una onda contaminada con componentes armónicas. Para que se considere como distorsión armónica las deformaciones en una señal, se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- Que la señal tenga valores definidos dentro del intervalo, lo que implica que la energía contenida es finita.
- Que la señal sea periódica, teniendo la misma forma de onda en cada ciclo de la señal de corriente o voltaje.
- Permanente. Cuando la distorsión armónica se presenta en cualquier instante de tiempo, es decir, que no es pasajera.

2.1.2. Normas NTSD de la CNEE Corrientes Armónicas

Capítulo I Distorsión Armónica de la Corriente Generada por el Usuario.

Artículo 41. 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:

$$\begin{aligned} \text{DATI} &= (\sqrt{\sum I_i^2 / I_1^2}) \times 100 \\ \text{DAII} &= (I_i / I_1) \times 100 \end{aligned}$$

- 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).

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

$$\Delta I_i = (I_i \text{ carga} - I_i \text{ límite})$$

- Donde:
 - I_i límite: límite de tolerancia establecida para la intensidad armónica.

Artículo 42. 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 tensión al que se encuentra conectado, y del orden de la armónica, por ese motivo en la tabla siguiente se establecen las tolerancias de corrientes armónicas individuales para distintos niveles de tensión, potencia máxima demandada y orden de armónica.

Tabla II. Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	P ≤ 10 kW V ≤ 1kV	P >10Kw 1kV < V ≤ 60kV	P >50kW v >60kV
	INTENSIDAD ARMONICA MAXIMA (AMP)	DISTORSION ARMONICA INDIVIDUAL DE CORRIENTE DAII, EN %	
IMPARES NO MULTIPLOS 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	0.20	1.6	1.1
25	0.18	1.6	1.1
> 25	4.5/n	0.2 + 0.8*25/n	0.4
IMPARES MULTIPLOS 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
DISTORSION ARMONICA TOTAL DE CORRIENTE DATI, EN %	--	20	12

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución.*

Artículo 42 NTSD: se considerará que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en el período de medición, dichas mediciones muestran que la distorsión armónica de la corriente de carga ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Artículo 43. Control para la Distorsión Armónica de la Corriente de Carga. El control de la generación de armónicas por los usuarios será responsabilidad de los distribuidores, como el desarrollo de las acciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios. Las mediciones deberán ser realizadas de acuerdo con la Norma IEC 1000-4-7 registrando la distorsión armónica total corriente de carga conjuntamente con la distorsión armónica individual de corriente de carga, y de la corriente de carga.

En aquellos casos donde se decida realizar mediciones sin carga o carga mínima, para referencia, deberán ser tomadas por cinco horas. La medición de la distorsión armónica comenzará a partir del inicio de la etapa de transición. De los resultados obtenidos durante los dos primeros años de medición, se determinará si es necesaria alguna modificación para medir la distorsión armónica en la corriente. podrán utilizarse los mismos puntos donde se mida la distorsión armónica de tensión.

Artículo 44. Indemnización por Distorsión Armónica de la Corriente de Carga. En los casos en que los distribuidores verifiquen que alguno de sus usuarios ha excedido las tolerancias establecidas en el artículo 42 de estas normas para la distorsión armónica de la corriente de carga, el usuario deberá pagar al distribuidor una Indemnización determinada en función a la distorsión penalizable individual de armónicas. Se define como distorsión penalizable

individual de armónicas (DPIAk), a la distorsión armónica de la corriente de carga, registrada en cada intervalo de medición k, que supere las tolerancias establecidas, según la siguiente expresión:

$$DPIAk = \text{Max} \left[0, \frac{D_{ATI(k)} - D_{ATI}}{D_{ATI}} \right] + \frac{1}{3} \sum_2^{40} \text{Max} \left[0, \frac{D_{All_i(k)} - D_{All_i}}{D_{All_i}} \right]$$

- Donde:
 - DPIAk: es la distorsión penalizable individual de armónicas para cada intervalo de medición k.
 - D ATI(k): es la distorsión armónica total de la corriente de carga, registrada en el intervalo de medición k, referida a la potencia contratada por el usuario.
 - D ATI: es la tolerancia para la distorsión armónica total de la corriente de carga.
 - D Alli(k): es la distorsión armónica individual de corriente de carga i, registrada en el intervalo de medición k, que inyecta el usuario en la red. Las corrientes y las distorsiones medidas deben ser expresados en valores absolutos de corrientes o en valores porcentuales con respecto a la intensidad de carga correspondiente con la potencia contratada por el usuario, según corresponda.
 - D Alli: es la tolerancia para distorsión armónica individual de la corriente de carga i.

En el caso anterior, en cada intervalo (k), en donde se verifique un valor de DPIA mayor que cero, se utilizará el siguiente criterio para la valorización de

la energía consumida en condiciones inadecuadas (Q/kWh), para el cálculo de la Indemnización:

$$\begin{array}{lll} 0 < \text{DPIA}_k \leq 1 & \text{CENS} * \text{DPIA}_k^2 & \text{Q/kWh} \\ 1 < \text{DPIA}_k & \text{CENS} & \text{Q/kWh} \end{array}$$

La Indemnización se determina como:

$$\text{Indemnización(Q)} = \sum_{k:\text{DPIA}_k \leq 1} \text{CENS} * (\text{DPIA}_k)^2 * E(k) + \sum_{k:\text{DPIA}_k > 1} \text{CENS} * E(k)$$

2.1.3. NTSD (Normas Técnicas de Servicio de Distribución) sobre *flicker*

Artículo 36. Índice de Calidad de *Flicker* en la Tensión. El *flicker* deberá ser medido por el índice de severidad de corto plazo Pst, definido por la Norma IEC 1000-3-7.

Artículo 37. Tolerancia para *Flicker* en la Tensión. El índice de tolerancia máxima para el *flicker* está dado por:

$$\text{Pst} \leq 1.$$

- Donde:
 - 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 cinco por ciento, del empleado en las mediciones

en el Período de Medición, dichas mediciones muestran que el *flicker* ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Artículo 38. Control para el *Flicker* en la Tensión. 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 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. La medición de *flicker* comenzará a partir del inicio de la etapa transición. De los resultados obtenidos durante los dos primeros años de medición, se determinará si es necesaria alguna modificación para evaluar el *flicker* en la tensión.

Artículo 39. Indemnización por *Flicker* en la Tensión. Los distribuidores deberán indemnizar a sus usuarios por aquellos servicios en los que se compruebe que las mediciones de *flicker* han excedido la tolerancia establecidas en el artículo 37. La indemnización está basada en función de las desviaciones por encima de la tolerancia establecida para el índice o indicador de severidad, y la energía suministrada en esas condiciones.

Se define como Distorsión Penalizable de Flicker (DPF_k), al valor de distorsión por fluctuaciones rápidas de tensión encontrado en cada intervalo de medición k, por encima de la tolerancia establecida, y se determina según la siguiente expresión:

$$DPF_k = \text{Max} \left[0, \frac{P_{st}(k) - P_{st}}{P_{st}} \right]$$

- Donde:
 - DPF_k: es la distorsión penalizable de *flicker*, para cada intervalo de medición k.
 - Pst(k): es el índice de severidad de *flicker* de corto plazo, registrado en el intervalo de medición k.
 - Pst: es la tolerancia establecida para el índice de severidad de corto plazo.

En el caso anterior, en cada intervalo (k), registrado con energía suministrada en malas condiciones de calidad (intervalos con DPF mayor que cero), se utilizará el siguiente criterio para la valorización de la energía suministrada en condiciones inadecuadas (Q/kWh), para el cálculo de la Indemnización:

$$\begin{array}{lll}
 0 < \text{DPF}_k \leq 1 & \text{CENS} * (\text{DPF}_k)^2 & [\text{Q/kWh}] \\
 1 < \text{DPF}_k & \text{CENS} & [\text{Q/kWh}]
 \end{array}$$

La Indemnización se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Indemnización(Q)} = \sum_{k : \text{DPF}_k \leq 1} \text{CENS} * (\text{DPF}_k)^2 * E(k) + \sum_{k : \text{DPF}_k > 1} \text{CENS} * E(k)$$

La indemnización deberá ser pagada por los distribuidores a los usuarios afectados por el *flicker*, una vez que se haya detectado el disturbio, y hasta que el mismo haya sido resuelto. Artículo 40. Elegibilidad para la Indemnización por *flicker* en la Tensión. Solamente los usuarios afectados conectados al punto de medición donde se exceda la tolerancia de *flicker*, serán indemnizados, a

excepción de aquellos que sean los que están generando el *flicker* y superen las tolerancias establecidas en estas Normas.

Flicker generado por el usuario

Artículo 45. 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 IEC 1000-3-3.

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

Carga (SI) kW	Pst
Tensión: (≤ 1 kV)	
SI ≤ 20	1.00
20 < SI ≤ 30	1.26
30 < SI ≤ 50	1.58
SI > 50	1.86
Tensión: (1kV < V ≤ 230 kV)	
SI / Scc ≤ 0.005	0.37
0.005 < SI / Scc ≤ 0.02	0.58
0.02 < SI / Scc ≤ 0.04	0.74
SI / Scc > 0.04	0.80

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*.

p. 40.

Artículo 46. NTSD Scc: capacidad de corto circuito del sistema en el punto de medición del *flicker* [kVA].

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento, del empleado en las mediciones en

el Período de Medición, dichas mediciones muestran que el *flicker* ha excedido el rango de tolerancias establecidas.

Artículo 47. Control para el *Flicker* Generado por el Usuario. El control del *flicker* generado por los usuarios será responsabilidad de los distribuidores, y el desarrollo de las acciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesarios.

Las mediciones deberán realizarse usando un medidor de *flicker*, según establece la Norma IEC 868. Para cargas de baja tensión, la medición debe ser hecha sobre una impedancia de referencia fijada por la Norma IEC 1000-3-3 con las siguientes características:

$$Z_{ph} = 0.24 + j0.15 \text{ ohms}$$

$$Z_n = 0.16 + j0.10 \text{ ohms}$$

La impedancia de referencia de neutro (Z_n), será utilizada solamente para aquellos usuarios cuya alimentación es monofásica.

Para cargas en media tensión, las mediciones de *flicker* deben ser realizadas sobre la impedancia de la red o sobre una impedancia que no cause que la tensión de estado estacionario caiga más del tres por ciento. Las mediciones sin carga o carga mínima, para referencia, deberán ser tomadas durante cinco horas.

La medición de *flicker* comenzará a partir del inicio de la etapa de transición. De los resultados obtenidos durante los dos primeros años de medición, se determinará si es necesaria alguna modificación para evaluar el

flicker generado por el usuario. Podrán utilizarse los mismos puntos donde se mida el *flicker* en la tensión.

Artículo 48. Indemnización por *Flicker* Generado por el Usuario. En los casos en que los distribuidores verifiquen que alguno de sus usuarios ha excedido las tolerancias de *flicker* establecidas en el artículo 46 de estas normas, el usuario deberá pagar al distribuidor una indemnización en función a la distorsión penalizable individual de *flicker*.

Se define como Distorsión Penalizable Individual de Flicker (DPIFk), al valor de distorsión por fluctuaciones rápidas de tensión detectado en cada Intervalo de medición k.

La distorsión penalizable individual de *flicker*, en el intervalo de medición k, se define como:

$$DPIF_k = \text{Max} \left[0, \frac{P_{stm}(k) - P_{sti}}{P_{sti}} \right]$$

- Donde:
 - DPIFk: es la distorsión penalizable individual de *flicker*, en el intervalo de medición k.
 - Pstm(k): es el índice de severidad de *flicker* de corto plazo, registrado en el intervalo de medición k, según la carga del usuario.
 - Psti: es la tolerancia para el índice de severidad de *flicker* de corto plazo, según la carga del usuario.

En el caso anterior, en cada intervalo de medición (k), registrado, donde se verifique un valor DPIFk mayor que cero, se utilizará el siguiente criterio para la valorización de la energía consumida en condiciones inadecuadas (Q/kWh), para el cálculo de la indemnización:

$$\begin{array}{ll} 0 < \text{DPIF}_k \leq 1 & \text{CENS} * (\text{DPIF}_k)^2 \quad \text{Q/kWh} \\ 1 < \text{DPIF}_k & \text{CENS} \quad \text{Q/kWh} \end{array}$$

La indemnización se determina como:

$$\text{Indemnización (Q)} = \sum_{k:\text{DPIF}_k \leq 1} \text{CENS} * (\text{DPIF}_k)^2 * E(k) + \sum_{k:\text{DPIF}_k > 1} \text{CENS} * E(k)$$

2.2. Eventos relacionados con calidad de la potencia eléctrica

Se describen los conceptos relacionados a la calidad de la potencia eléctrica.

2.2.1. Variaciones de estado estable

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

2.2.2. Variaciones lentas de voltaje

La evaluación de la calidad de potencia eléctrica puede ser perfectamente enmarcada dentro de las estrategias de mantenimiento predictivo en sistemas de potencia industriales y comerciales, debido a que,

mediante esta evaluación, es posible proporcionar alertas de forma anticipada sobre el deterioro de ciertos componentes del sistema, y las causas de tal condición, permitiendo generar acciones para prevenir las fallas.

2.2.3. Armónicos

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema, y para el caso del país es 60 Hz. Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia. El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD), como una medida de la distorsión.

2.2.4. Flicker

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados por la Norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas *flicker*. El término *flicker* se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones.

2.2.5. Desbalance

El desequilibrio de tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero o la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje. Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas. Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2 %.

2.2.6. Perturbaciones

Las ondas eléctricas de los parámetros básicos de energía eléctrica como tensión y corriente pueden sufrir cambios en su frecuencia, amplitud y forma por perturbaciones electromagnéticas generadas por cargas no lineales.

Dichos problemas que afectan la calidad de la energía eléctrica que este documento analiza son variados (desbalance de tensión, hundimientos, *flicker*, transitorios, distorsión armónica y los también definidos en la tabla IV), donde y cada fenómeno de estos tiene diferentes causas, consecuencias, y soluciones.

Tabla IV. **Clasificación de perturbaciones de calidad de energía eléctrica según su duración**

Perturbación	Tipo
Larga duración o permanentes	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo Variaciones de tensión de estado estable • Desbalance de tensión flicker • Interrupciones de larga duración (Duración ≥ 1min) • Armónicos de tensión • Armónicos de corriente • Muestras de tensión • Variaciones de tensión de larga duración (subtensiones y sobretensiones)
Lentas	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupciones de corta duración (duración < 1min) • Hundimientos o huecos de tensión (<i>sags</i>) • Elevaciones de tensión (<i>swell</i>) • Variaciones de frecuencia
Rápidas	<ul style="list-style-type: none"> • Sobretensiones transitorias

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución.*

2.2.7. Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto. Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración porque la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10 % de su valor nominal. El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular.

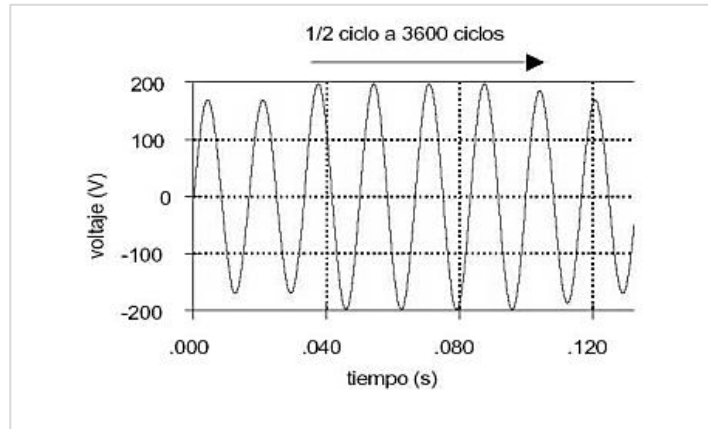
2.2.8. Sags

Un hueco en la magnitud del voltaje comprendido en un determinado rango de magnitud normalizado internacionalmente.

2.2.9. Swells

Una cresta (*Swell*), se define como un incremento del valor R.M.S., de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto. Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema, aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra. También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

Figura 4. **Curva de espectro Swell**



Fuente: TELLEZ, Eugenio. *Distorsión armónica*. p. 14.

2.2.10. Transitorios

Corto período de tiempo que caracteriza a los elementos eléctricos después de ocurrir una perturbación en relación a las condiciones estables.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

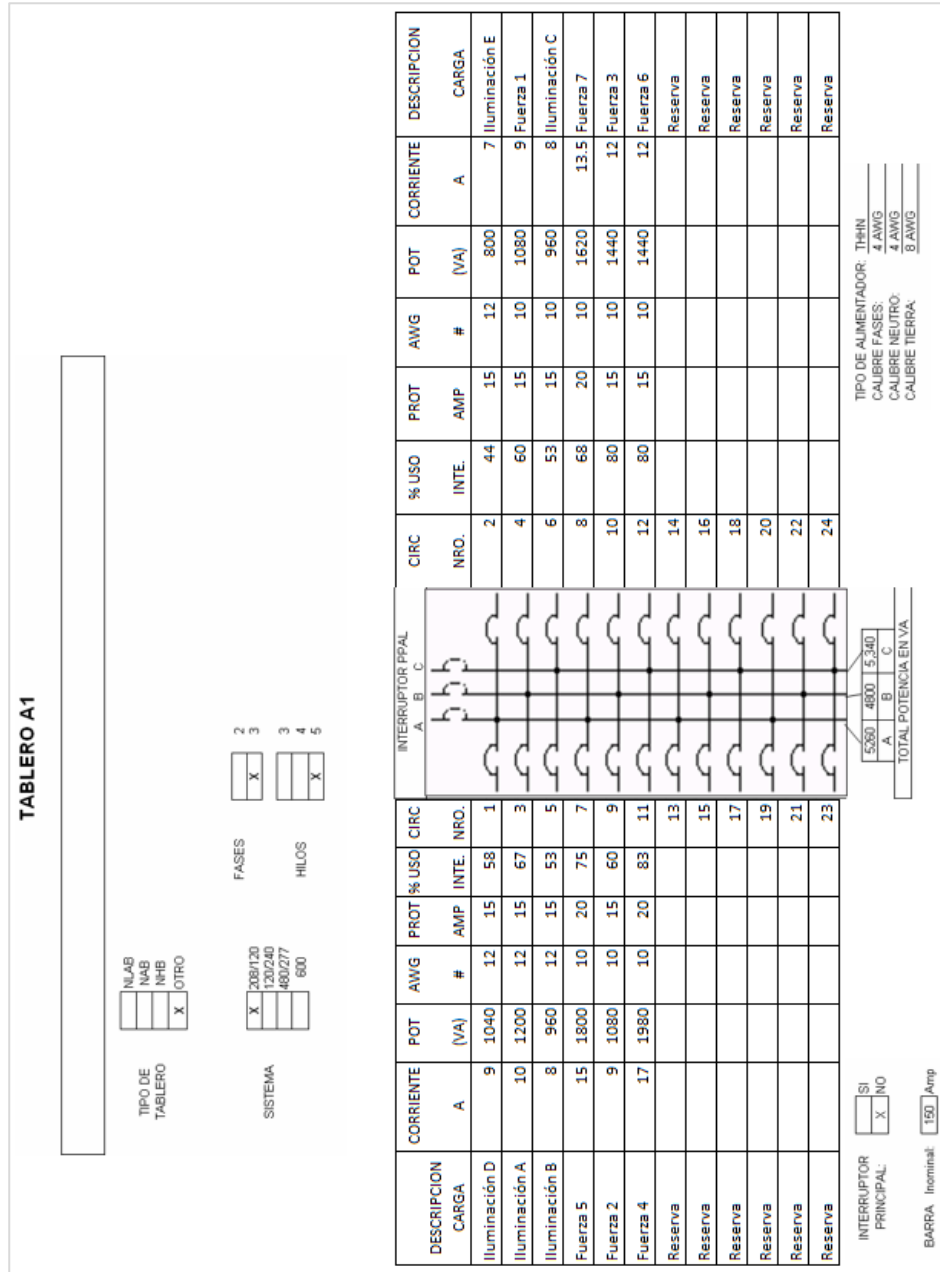
3.1. Diagnóstico del edificio CUM

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

3.1.1. Planos eléctricos

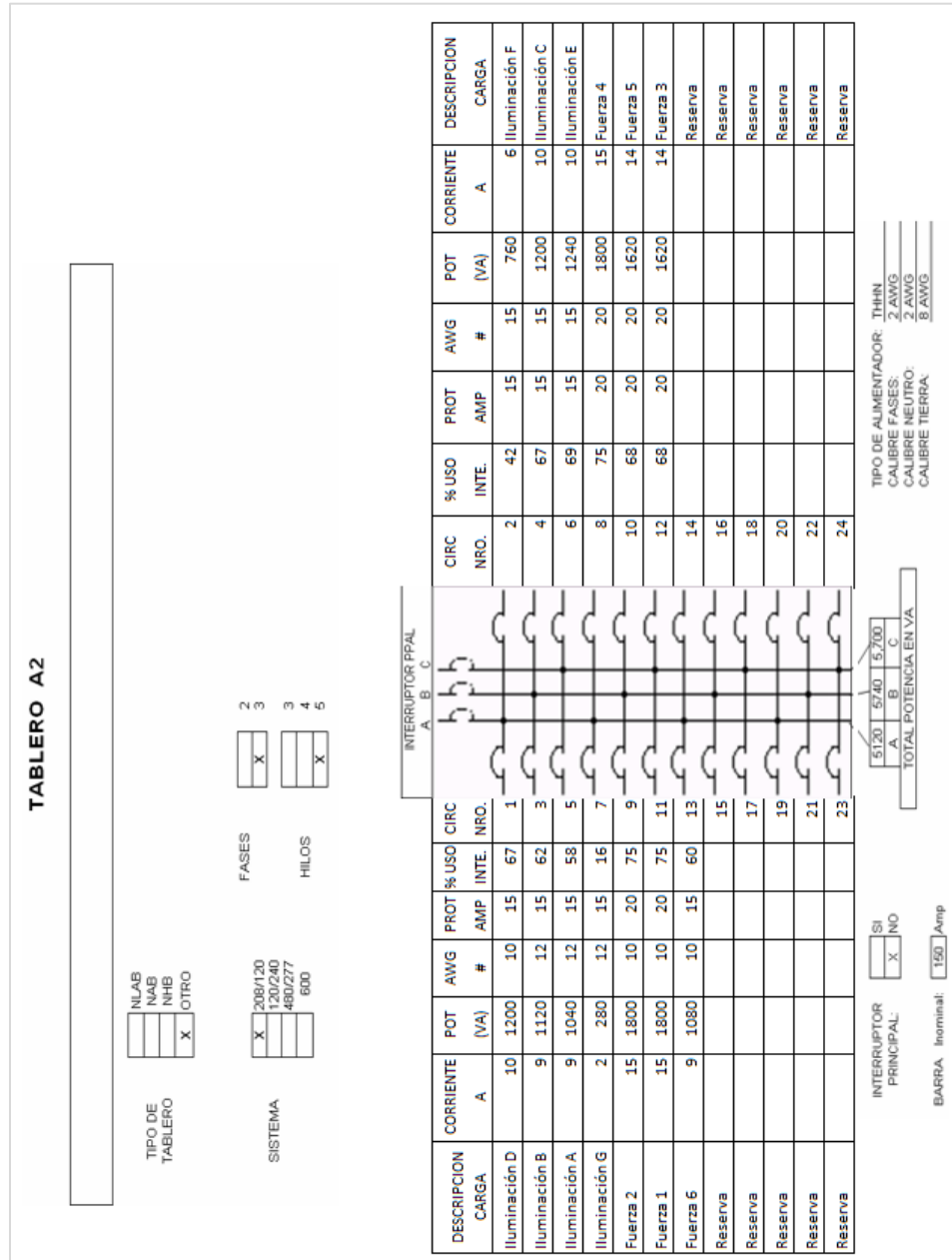
La línea puede mostrar la totalidad o una parte de un sistema. Es muy versátil y completo puesto que puede ilustrar circuitos AC muy sencillos, o bien un sistema trifásico muy complejo. En el diseño del sistema eléctrico realizado para los edificios del Centro Universitario Metropolitano, se dan a conocer las especificaciones de cada circuito eléctrico, como carga instalada, corriente consumida, voltajes, caídas permitidas, y las protecciones para cada uno, en los siguientes apartados se determina la forma que debe tener cada circuito ramal como cimentadores, las protecciones de alimentadores y balance de cargas.

Figura 6. Diagrama unifilar, primer nivel edificio A, tablero secundario A1



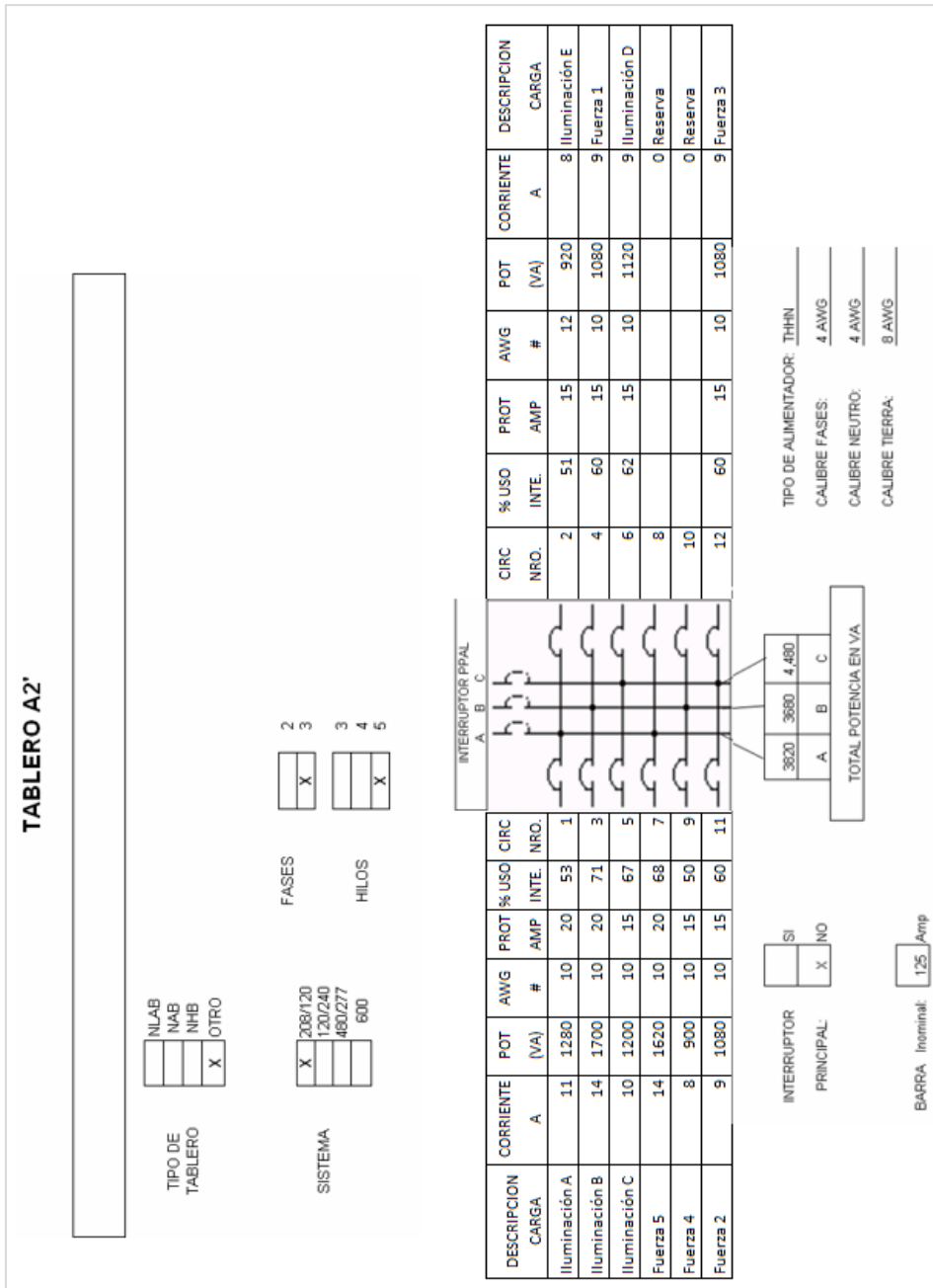
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones*. p. 14.

Figura 8. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, tablero secundario A2



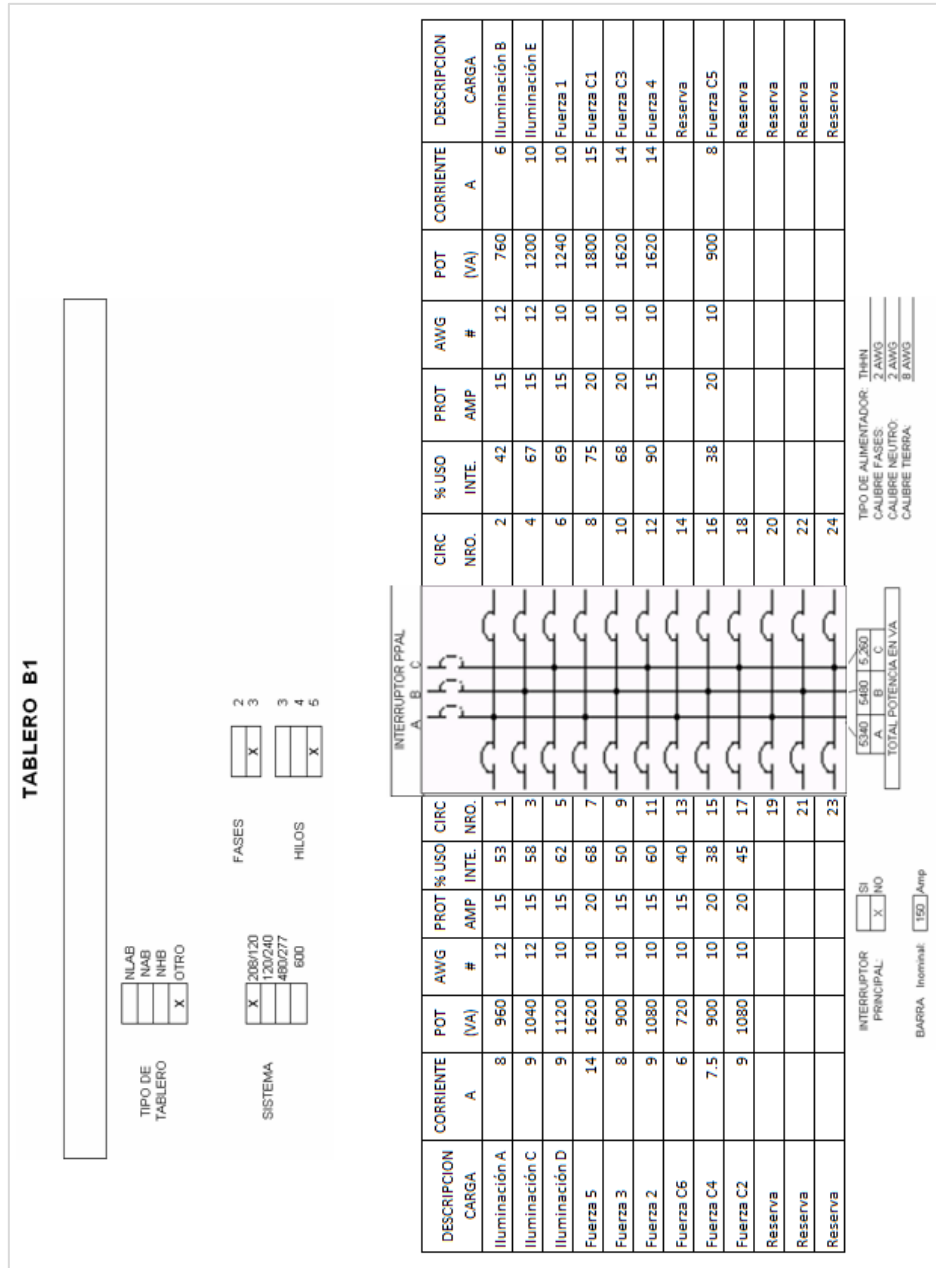
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones.* p. 16.

Figura 9. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio A, subtablero A2'



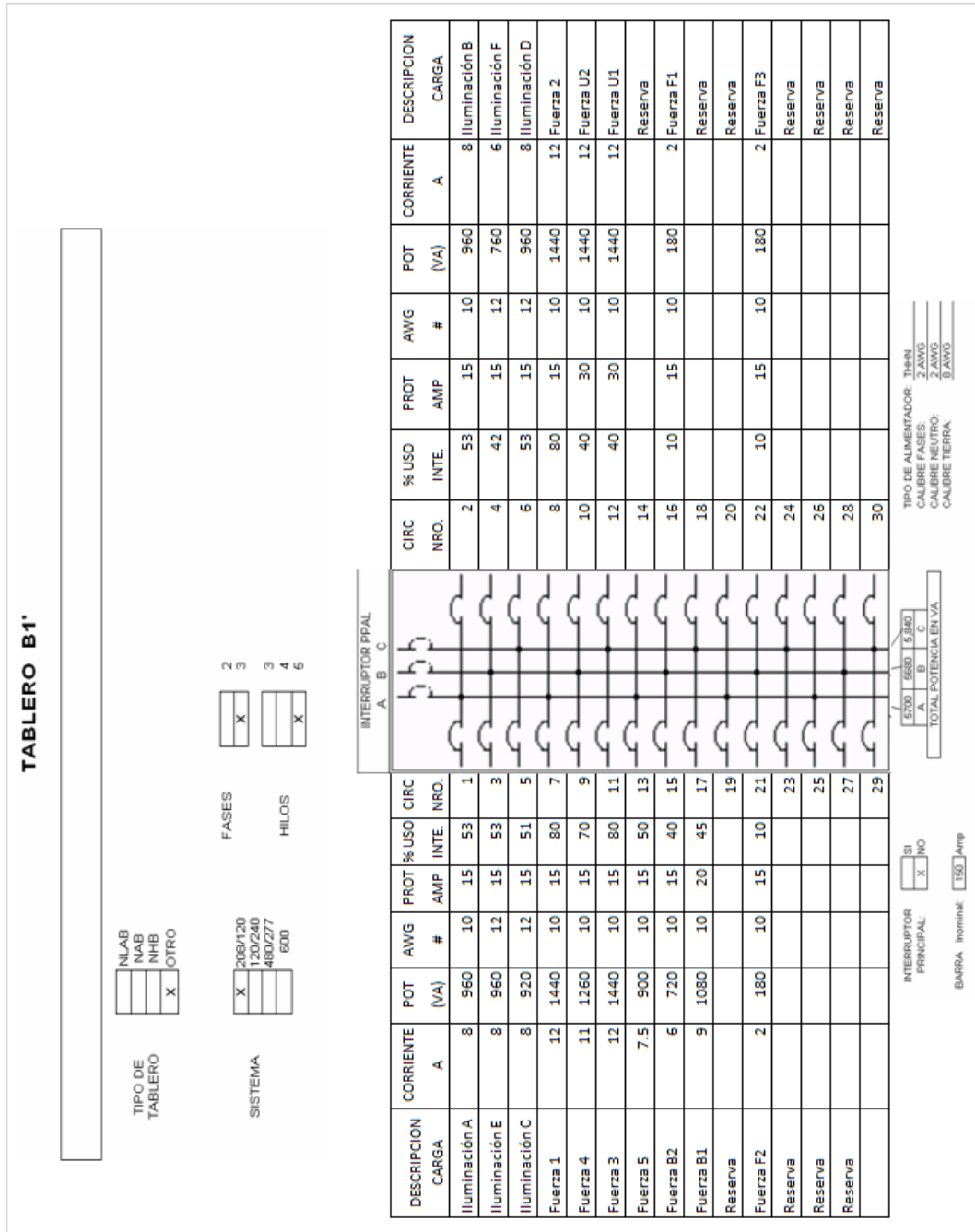
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones.* p. 18.

Figura 10. Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, tablero secundario B1



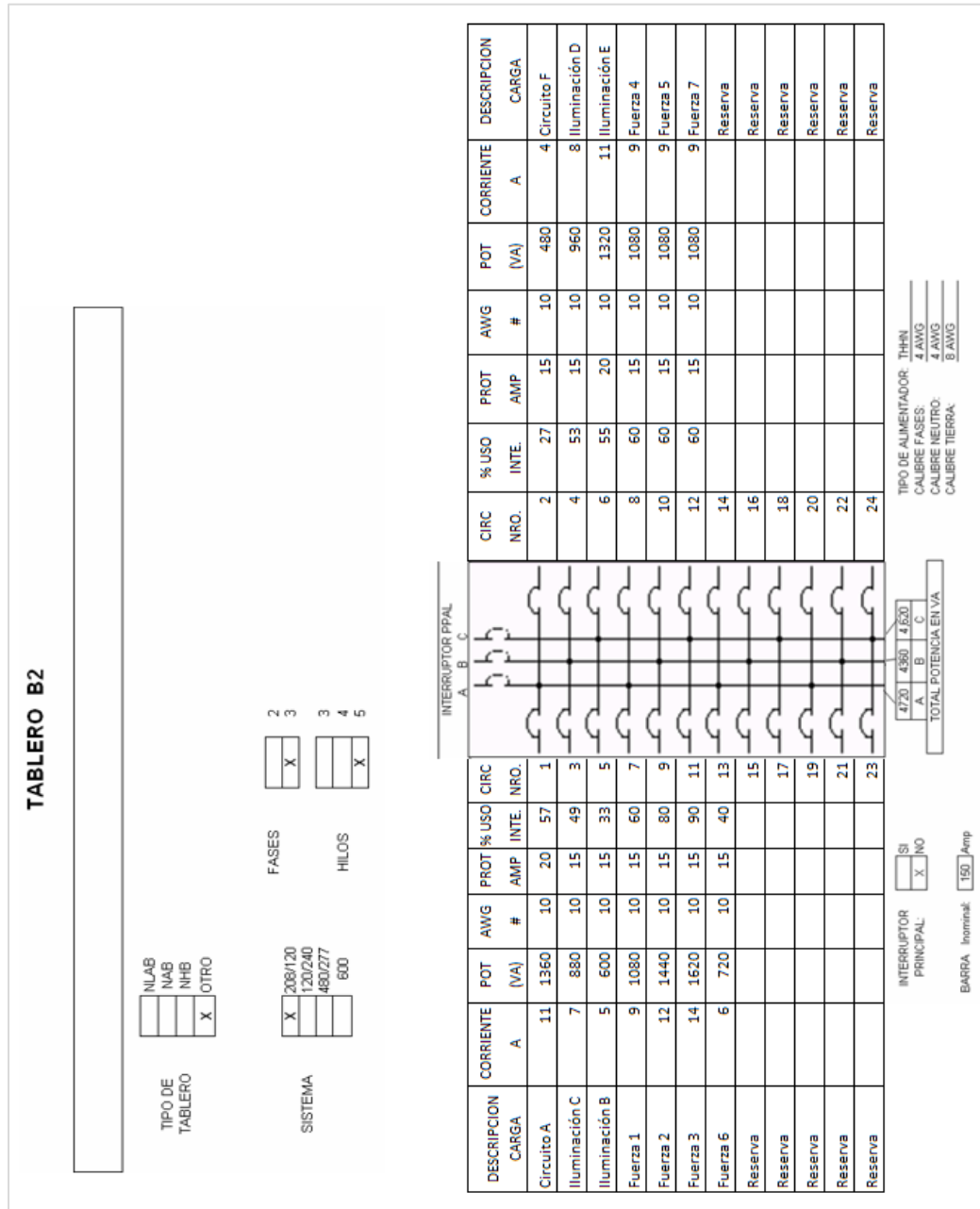
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. Planos eléctricos e instalaciones. p. 19.

Figura 11. Diagrama unifilar, primer nivel edificio B, subtablero B1'



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones.* p. 20.

Figura 12. Diagrama unifilar, segundo nivel edificio B, tablero secundario B2



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones*. p. 21.

Para la sub-red eléctrica, especifican los calibres de conductores, protecciones, balance de cargas, y la identificación de cada circuito, la nomenclatura de los circuitos coincide con lo especificado en el apartado de diseño de iluminación nuevamente, se aclara que para los alimentadores, tanto los conductores de fases como los conductores neutros deberán ser del mismo calibre, mientras que para los ramales, el calibre del conductor de tierra no deberá ser menor del 12 AWG, además, el conductor neutro no podrá ser utilizado como conductor de tierra, y éstos solo tendrán un punto de unión en la red de tierra física.

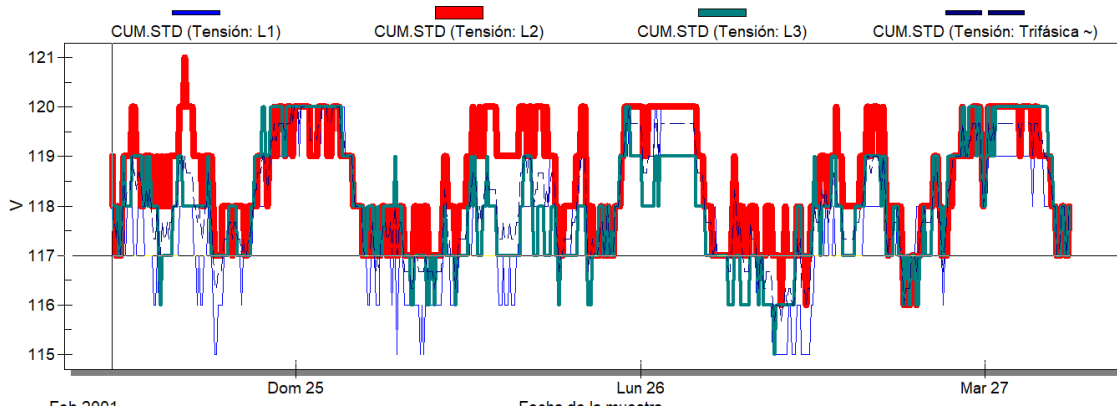
Los conductores deberán ser del tipo THHN debido a que su aislamiento lo hace más resistente al esfuerzo mecánico, y a soportar temperaturas mayores, esto último le da mayor capacidad de conducción de corriente. Los centros de carga deberán ajustarse a los requerimientos de número de polos, fases, capacidad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

3.1.2. Tensión de servicio

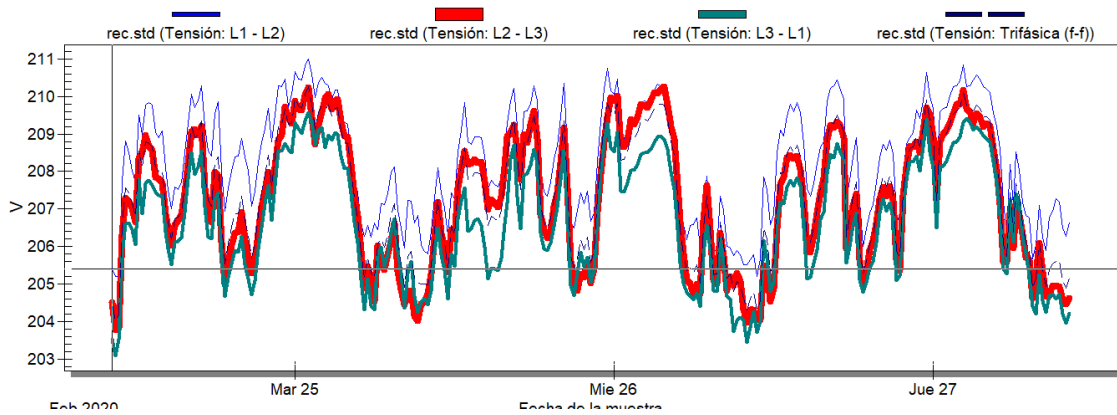
Se observa que el valor de voltaje de Línea a neutro está dentro de un rango de 119 a 117 para los edificios A-B y 205 a 203 para los edificios C-D, y se puede observar que los 4 edificios se encuentran dentro de la tolerancia admisible de las NTSD, que en regulación de voltaje es de 8 % del valor nominal.

Figura 13. Tensión

A_B



C_D



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

3.1.3. Ramales instalados

La subred eléctrica está compuesta por todos los circuitos ramales que alimentan la carga instalada en su totalidad, los centros de carga y protecciones para cada circuito.

En el tablero principal 1 se tienen las cargas de los edificios A-B y en el tablero principal 2 se tienen las cargas de los edificios C-D.

3.1.4. Material instalado

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

3.1.5. Tableros eléctricos

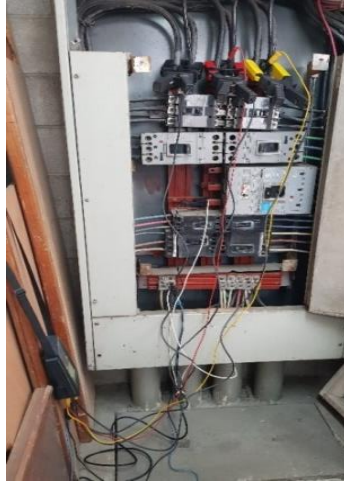
El tablero principal de los edificios A-B tiene 8 interruptores trifásicos que alimentan los niveles de los edificios más un interruptor de Emergencia de 400 A.

Figura 14. **Tablero de distribución principal, Edificio A-B**



Fuente: elaboración propia, Edificio A-B.

Figura 15. **Tablero de distribución principal, Edificio A-B**



Fuente: elaboración propia, Edificio A-B.

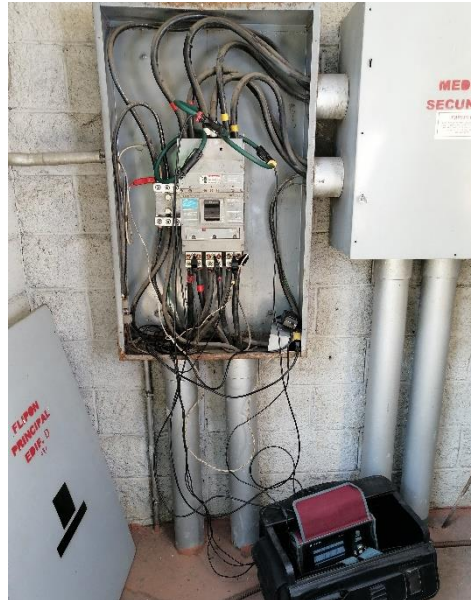
El flipón principal de los edificios C-D tiene un flipón de 800 A del cual se derivan las acometidas hacia los tableros de cada edificio.

Figura 16. **Flipón principal Edificio C-D**



Fuente: elaboración propia, Edificio C-D.

Figura 17. **Flipón principal, Edificio C-D**



Fuente: elaboración propia, Edificio C-D.

3.1.6. Protecciones eléctricas

En el edificio del CUM no se observan protecciones eléctricas más que los fusibles de 13.8 kV que se encuentran conectados en los transformadores que alimentan los tableros, se observa que posiblemente si exista sistema de puesta a tierra, pero por falta de acceso a dicha información no se tiene evidencia si en efecto existe o no sistema a tierra.

Voy a sugerir protecciones idóneas que se podrían instalar en los edificios y que son los sistemas de protección más frecuentes.

- Cortocircuito fusible: son dispositivos destinados a cortar automáticamente el circuito eléctrico cuando la corriente eléctrica que los

atraviesa es muy alta. El fusible es la parte de un circuito que se funde si pasa de una intensidad superior para la que se construyó. El fusible es solo la lámina o hilo conductor destinado a fundirse, y a cortar el circuito, mientras que el cortocircuito fusible comprende, además, la carcasa, los materiales de soportes, entre otros.

- Relé térmico: es un dispositivo de protección que tiene la capacidad de detectar las intensidades no admisibles. No puede eliminar la avería por sí solo, necesita otro elemento que realice la desconexión de los receptores. Se suele utilizar una lámpara de señalización al cerrar el circuito para indicar que el relé térmico ha actuado debido a una sobreintensidad no admisible.
- Interruptor magnetotérmico: el dispositivo electromecánico con capacidad para cortar, por sí mismo, las sobreintensidades no admisibles y los cortocircuitos que se puedan producir.
 - Desconexión por cortocircuito: actúa por principio de funcionamiento magnético. Una bobina magnética crea una fuerza que, por medio de un sistema de palancas, se encarga de abrir el contacto móvil (entrada de corriente). Si la corriente eléctrica que atraviesa el interruptor automático supera la intensidad nominal de distintas veces, su apertura tiene lugar a un tiempo inferior a 5 ms.
 - Desconexión por sobrecarga: actúa por principio de funcionamiento térmico. Un bimetálico se curva cuando es atravesado por una sobreintensidad no admisible y origina una fuerza que se transmite por medio de palancas y desconecta el

contacto móvil. El tiempo de actuación lo determina la intensidad que lo atraviesa: a más intensidad menos tiempo tarda en actuar.

- Interruptor diferencial: dispositivo de protección que detecta y elimina los defectos de aislamiento. Este dispositivo tiene mucha importancia en las instalaciones eléctricas y necesita estar protegido de las sobrecargas y cortocircuitos, colocando un interruptor magnetotérmico antes del mismo.

Durante el funcionamiento de este dispositivo en situaciones de normalidad, la corriente que entra en un receptor tiene el mismo valor que el que sale de este.

En caso de que haya un defecto de aislamiento, se producirá un desequilibrio entre la corriente de entrada y la de salida, con lo que la variación de corriente no será nula. Cuando esto ocurre, el interruptor diferencial actúa abriendo el circuito cuando detecta que esta variación de corriente no es nula.

- Interruptor o relé electromagnético: protegen las instalaciones eléctricas sometidas a picos de corriente fuertes (por ejemplo, cuando se arrancan motores en aparatos de elevación), contra las sobrecargas importantes.
- Seccionadores: dispositivo mecánico de conexión y desconexión que permite cambiar las conexiones del circuito para aislar un elemento de la red eléctrica o una parte de la misma del resto de la red. Antes de utilizar el seccionador se debe cortar la corriente eléctrica del circuito.
- Sistema de puesta a tierra: las razones por las cuales sistemas y circuitos son puestos a tierra son:

- Protección de personal
- Protección de equipo
- Limitar el voltaje debido a:
 - Rayos
 - Sobrevoltajes transitorios
 - Contacto accidental con líneas de alto voltaje
 - Estabilizar el voltaje durante operaciones normales
 - Facilitar la operación de los interruptores de circuito

- La trayectoria a tierra debe ser:
 - Conectada a tierra intencionalmente
 - Permanente
 - Continua
 - Segura: el calibre de los conductores debe ser adecuado para que conduzcan sin riesgos cualquier corriente de falla
 - una trayectoria de baja impedancia

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

3.2. Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejora en la calidad de la potencia eléctrica

Se realizaron varias medidas en los edificios, para poder detectar oportunidades de mejora en la calidad eléctrica.

Tabla V. Análisis de datos CUM

A-B				
	L1	L2	L2	III
Tension (V)	117	119	118	118~
Corriente (A)	126	131	127	128~
P. Aparente (KVA)	15	16	15	44
P. Activa (KW)	13	14	14	41
P. Inductiva (Kvar)	2	1	0	3
P. Capacitiva (Kvar)	0	0	0	0
Factor pot.	0.92	0.93	-0.94	0.93
Frecuencia (Hz)	60			

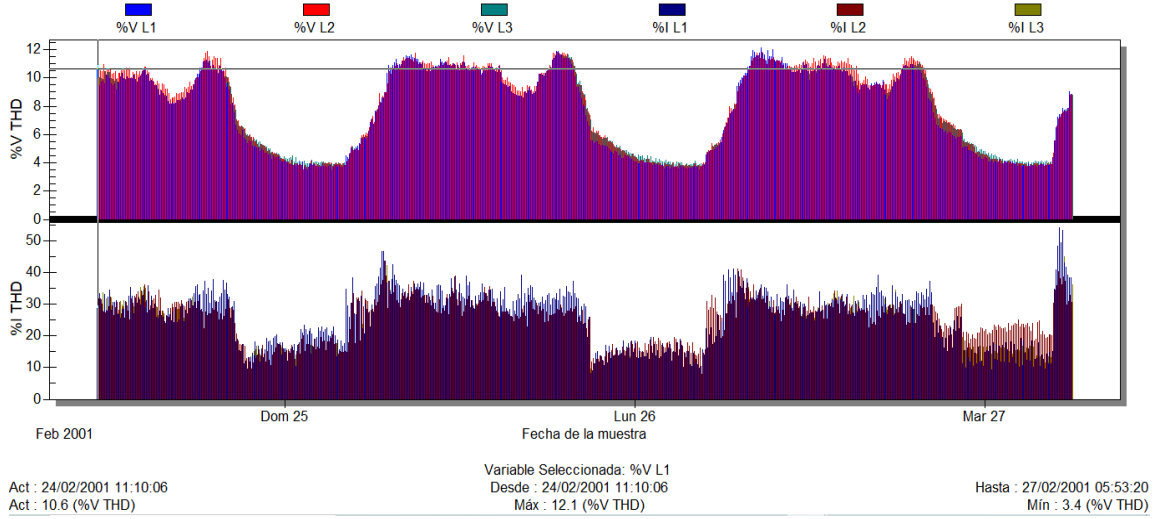
C-D				
	L1	L2	L2	III
Tension Comp. (V)	205.4	204.5	203.53	204.47
Tension (V)	118.06	119.6	116.51	118.05
Corriente (A)	69.6103	47.2972	68.1332	61.565
P. Aparente (kVA)	8.1709	5.6253	7.8881	2.17473
P. Activa (kW)	7.7624	5.4682	7.5424	2.08045
P. Inductiva (kvar)	2.0741	0.9113	2.0113	5.0282
P. Capacitiva (kvar)	0	0	0	0
Factor pot.	0.944	0.966	0.95	0.954
Frecuencia (Hz)	60			

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración.

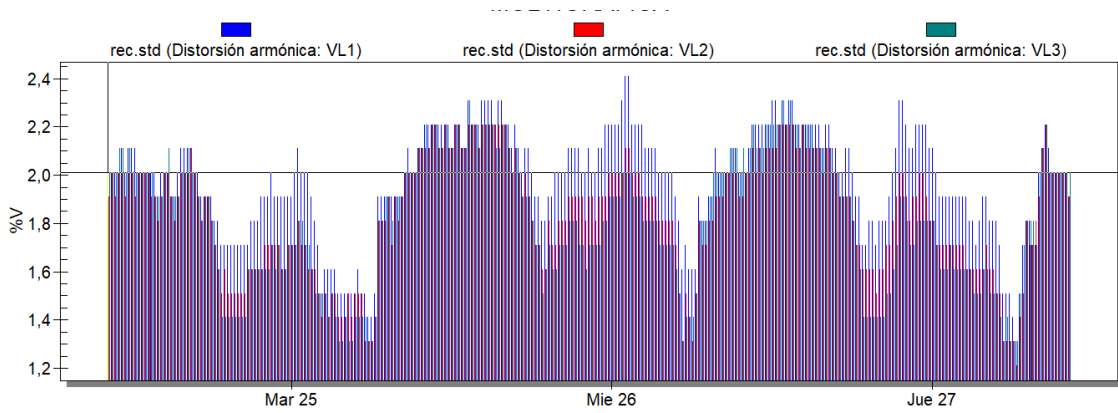
Planos eléctricos e instalaciones. p. 22.

Figura 18. Distorsión armónica

A_B

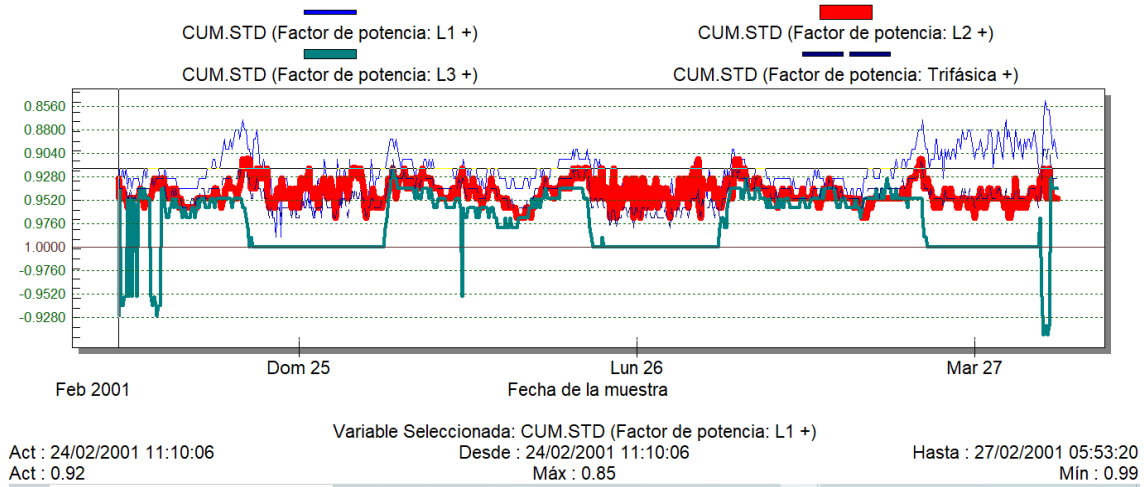


C_D



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

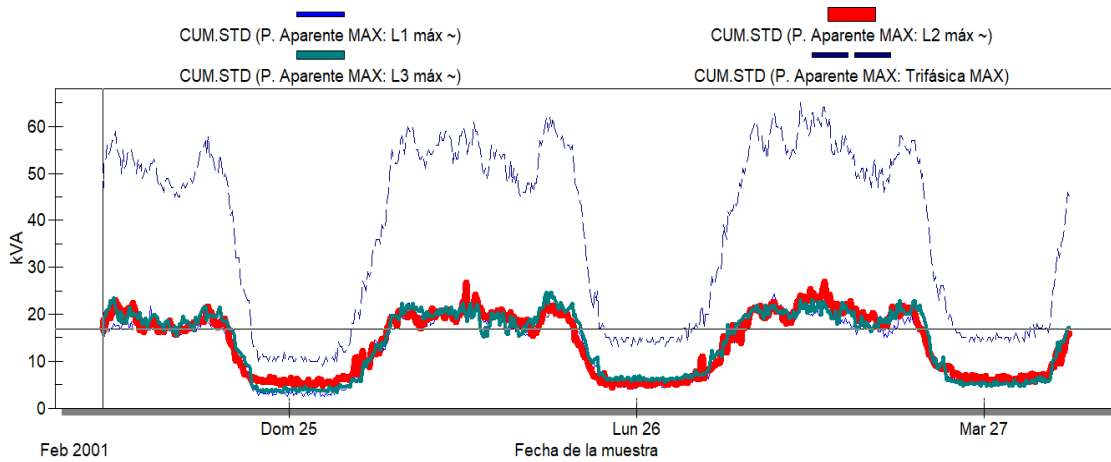
Figura 19. Factor de potencia



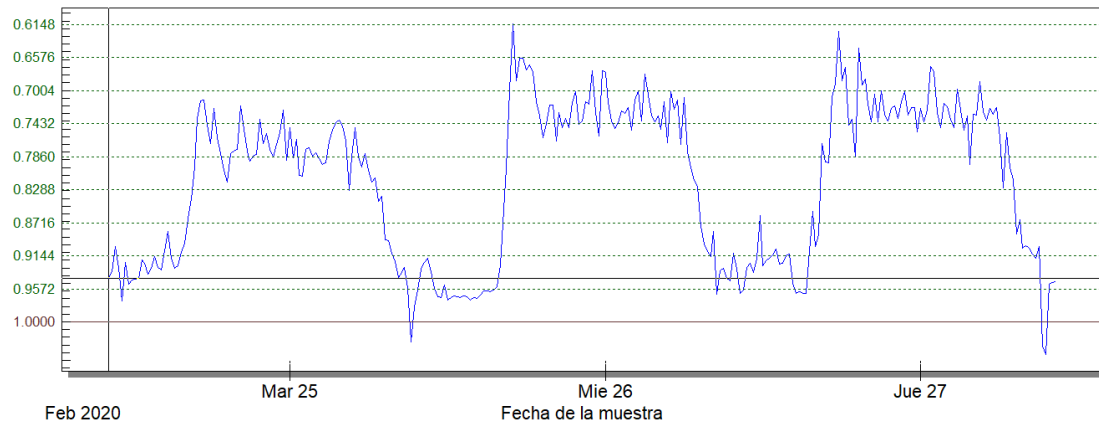
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Figura 20. Potencia aparente máxima

A_B



Continuación de la figura 20.



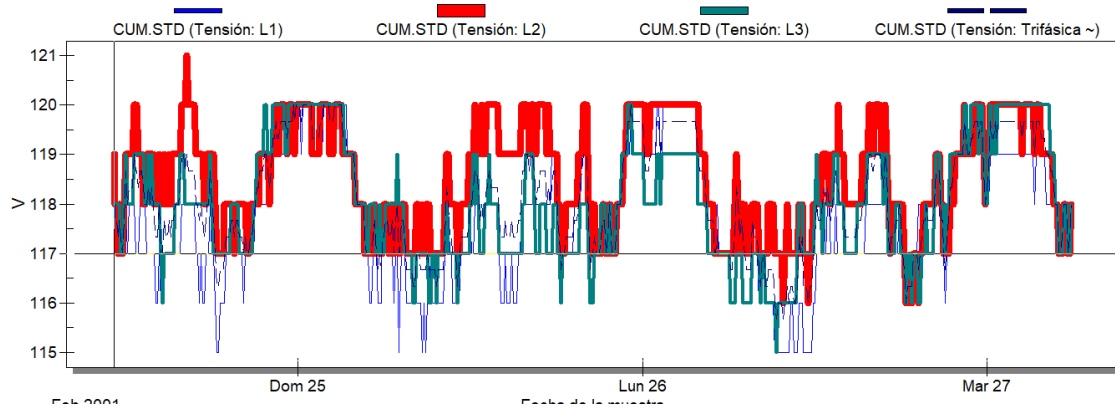
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Para evaluar la calidad de la tensión, se toma de referencia la Norma EN 50160 esta establece que, para la medición de una semana, se debe verificar que los voltajes medidos, no superen el ± 10 de la tensión nominal o que no existan valores de sobretensiones, huecos de tensión e interrupciones. La tensión nominal del sistema de fase a neutro es de 120 VAC edificio A-B y 220 VAC edificio C-D.

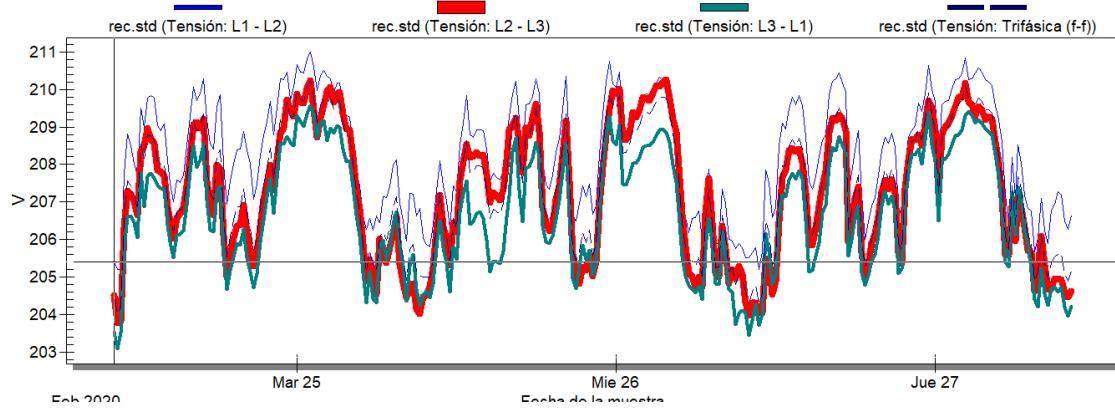
En las siguientes gráficas se muestra la medición realizada en los edificios para las tensiones de las tres fases, se puede observar que las tensiones no superaron el ± 10 % de la tensión nominal, por lo que la evaluación es correcta.

Figura 21. Tensión

A-B



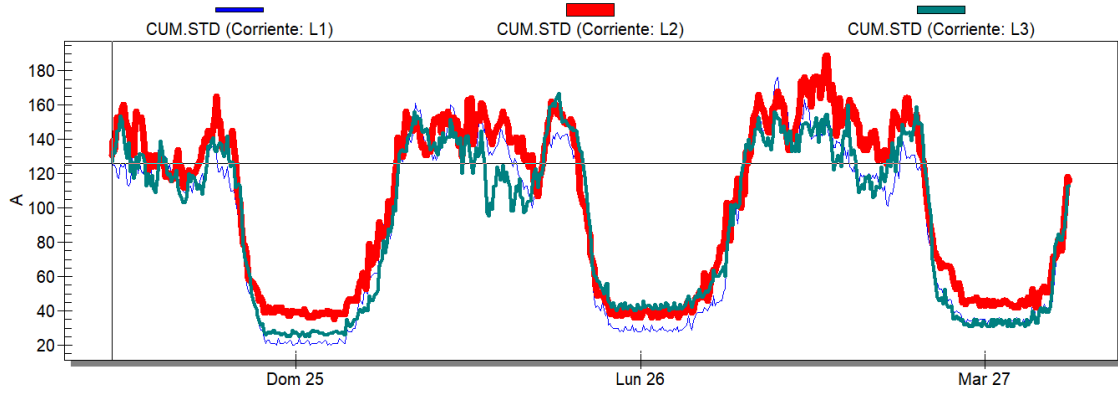
C-D



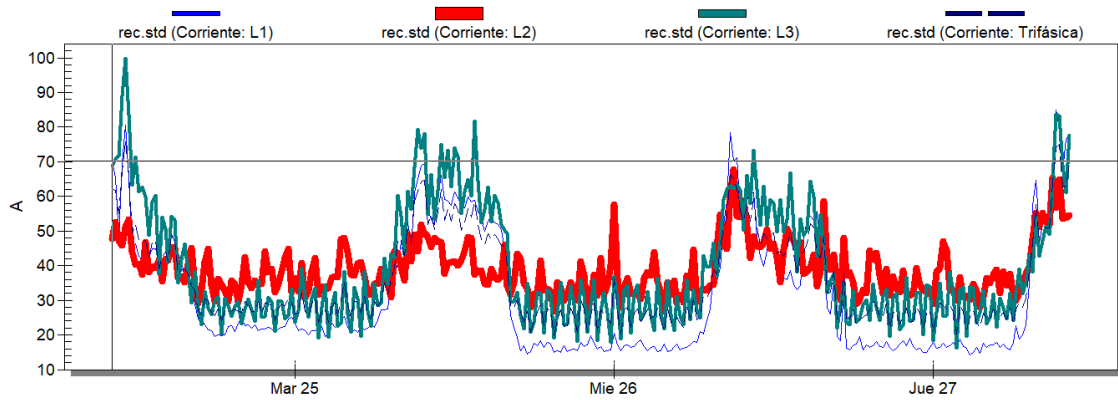
Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Figura 22. Corriente

A_B



C_D



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Tabla VI. **Resumen de eventos de corriente AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	N
Corriente mínima	86 A	93 A	83 A	39 A
Corriente media	91 A	98 A	90 A	41 A
Corriente máxima	141 A	142 A	145 A	42 A

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resumen de eventos de corriente CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	N
Corriente mínima	87 A	91 A	82 A	38 A
Corriente media	88 A	93 A	91 A	40 A
Corriente máxima	138 A	141 A	140 A	42 A

Fuente: elaboración propia.

Con base en los datos recabados se puede concluir que la corriente que circula por el neutro se debe a que la mayoría de las cargas son de tipo monofásicas.

Figura 23. Gráfica de medición de tensión



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Tabla VIII. Resumen de eventos de tensión edificio A-B

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1-N	L2-N	L3-N	TIEMPO
CAÍDA DE TENSIÓN	0	0	0	0
SUBIDA DE TENSIÓN	0	0	0	0
TRANSITORIOS	0	0	0	0
INTERRUPCIONES	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resumen de eventos de tensión edificio C-D**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1-N	L2-N	L3-N	TIEMPO
CAÍDA DE TENSIÓN	0	0	0	0
SUBIDA DE TENSIÓN	0	0	0	0
TRANSITORIOS	0	0	0	0
INTERRUPCIONES	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que en las mediciones realizadas no se observa ningún evento relacionado con la tensión en ninguno de los edificios.

Con base en los datos anteriores se puede concluir que la tensión se encuentra dentro de los parámetros que recomienda la Norma NTSD en su artículo 24.

“Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad cuando, en un lapso de tiempo mayor al cinco por ciento del correspondiente al total del Período de Medición, las mediciones muestran que la Regulación de Tensión ha excedido el rango de tolerancias establecidas.”⁸

⁸ Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas Técnicas del Servicio de Distribución*. p. 52.

Tabla X. **Resumen de eventos de potencia activa AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Potencia mínima	11,1 kW	10 kW	9,5 kW	30,1 kW
Potencia media	10,4 kW	10,5 kW	10,2 kW	31,3 kW
Potencia máxima	15,1 kW	14,3 kW	15,2 kW	45,8 kW

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resumen de eventos de potencia activa CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Potencia mínima	10,1 kW	11 kW	9,7 kW	31,1 kW
Potencia media	10,6 kW	11,5 kW	10,5 kW	32,6 kW
Potencia máxima	15,5 kW	15,7 kW	15,7 kW	46,9 kW

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resumen de eventos de potencia reactiva AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
POTENCIA MÍNIMA	-0,4 kvar	-0,3kvar	-0,3kvar	-0,7kvar
POTENCIA MEDIA	0,2 kvar	0,4kvar	0,4kvar	0,8kvar
POTENCIA MÁXIMA	5,6 kvar	5,7kvar	6,9kvar	18,2kvar

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resumen de eventos de potencia reactiva CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
POTENCIA MÍNIMA	-0,4 kvar	-0,2kvar	-0,3kvar	-0,7kvar
POTENCIA MEDIA	0,3 kvar	0,4kvar	0,4kvar	0,7kvar
POTENCIA MÁXIMA	5,2 kvar	5,2kvar	6,4kvar	17,9kvar

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resumen de eventos de potencia aparente AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Potencia mínima	10,1kva	11kva	9,7kva	31,1kva
Potencia media	10,6kva	11,5kva	10,5kva	32,6kva
Potencia máxima	16,5kva	16,7kva	17kva	50kva

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resumen de eventos de potencia aparente CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Potencia mínima	10,2kva	10,7kva	9,5kva	30,1kva
Potencia media	10,4kva	10,5kva	10,9kva	32,1kva
Potencia máxima	15,9kva	16,2kva	16,9 kva	49 kva

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. **Factor de potencia**

En las siguientes tablas se describe el factor de potencia.

Tabla XVI. **Resumen de eventos de factor de potencia AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Factor de potencia mínimo	0,9	0,91	0,87	0,89
Factor de potencia medio	0,98	0,98	0,97	0,98
Factor de potencia máximo	0,98	0,98	0,98	0,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resumen de eventos de factor de potencia CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	TOTAL
Factor de potencia mínimo	0,8	0,89	0,85	0,88
Factor de potencia medio	0,95	0,98	0,97	0,93
Factor de potencia máximo	0,98	0,98	0,98	0,98

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos en las gráficas de las distintas potencias (activa, reactiva y aparente), y el factor de potencia, se puede concluir que el edificio no incurre en penalización por bajo factor de potencia.

3.2.2. Distorsión armónica

En las siguientes tablas se detalla la distorsión armónica.

Tabla XVIII. **Resumen de eventos de distorsión armónica de tensión AB**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	N
THD V mínimo	6,25 %	5,29 %	5,45 %	200,43 %
THD V medio	6,31 %	5,35 %	5,51 %	217,93 %
THD V máximo	6,37 %	5,42 %	5,55 %	238,82 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resumen de eventos de distorsión armónica de tensión CD**

RESUMEN DE EVENTOS				
	L1	L2	L3	N
THD V mínimo	6,23 %	5,24 %	5,41 %	200,1 %
THD V medio	6,3 %	5,34 %	5,49 %	216,3 %
THD V máximo	6,31 %	5,45 %	5,5 %	237,76 %

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación de la medición de la tensión de distorsión armónica total, se emplea la Norma EN 50160, esta establece que el límite permisible es de 8 %.

Se concluyó que los resultados de las mediciones demuestran que la tensión de distorsión armónica total se encuentra aproximadamente en el 6 % del límite de 8 % que sugiere la Norma EN 50160, teniendo que la evaluación es correcta.

3.2.3. Frecuencia

La frecuencia se detalla en las tablas XX y XXI.

Tabla XX. **Resumen de eventos de frecuencia AB**

RESUMEN DE EVENTOS		
	Frecuencia medica	Desbalance
Frecuencia máxima	60,13 Hz	0,9 %
Frecuencia media	60,02 Hz	0,15 %
Frecuencia mínima	59,93 Hz	0,1 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resumen de eventos de frecuencia CD**

RESUMEN DE EVENTOS		
	Frecuencia medica	Desbalance
Frecuencia máxima	60,11 Hz	0,9 %
Frecuencia media	60,01 Hz	0,14%
Frecuencia mínima	59,78 Hz	0,1 %

Fuente: elaboración propia.

Los datos recabados evidencian que el desbalance en la frecuencia está dentro de los parámetros establecidos por la Norma NSTD 60 Hz -6 %/+4 %.

- *Flicker* según el índice Pst

Tabla XXII. **Resumen de eventos de *flicker* pst AB**

RESUMEN DE EVENTOS			
	L1	L2	L3
<i>Flicker</i> Pst	0,231	0,261	0,284

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resumen de eventos de *flicker* pst CD**

RESUMEN DE EVENTOS			
	L1	L2	L3
<i>Flicker</i> Pst	0,229	0,258	0,282

Fuente: elaboración propia.

Según la Norma NTSD en su Artículo 37 la tolerancia para el *flicker* en la tensión está dentro de los parámetros admisibles.

Artículo 37. Tolerancia para *Flicker* en la Tensión. El índice de tolerancia máxima para el *flicker* está dado por:

$$Pst \leq 1.$$

- *Flicker* según el Índice Plt

Tabla XXIV. **Resumen de eventos de *flicker* plt AB**

RESUMEN DE EVENTOS			
	L1	L2	L3
<i>Flicker</i> Plt	0,236	0,248	0,267

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resumen de eventos de *flicker* plt CD**

RESUMEN DE EVENTOS			
	L1	L2	L3
<i>Flicker</i> Plt	0,233	0,245	0,256

Fuente: elaboración propia.

Según la Norma NTSD en su Artículo 38 la tolerancia para el *flicker* en la corriente está dentro de los parámetros admisibles. $Plt \leq 1$. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala, 2003).

3.3. Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejorar en el tema de la eficiencia energética

Se realizó el análisis de los resultados de mediciones en los edificios AB y CD donde se pudo obtener los siguientes resultados que se muestran en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Análisis de resultados de mediciones y detección de oportunidades de mejorar en el tema de la eficiencia energética**

A-B				
	L1	L2	L2	III
Tension (V)	117	119	118	118~
Corriente (A)	126	131	127	128~
P. Aparente (KVA)	15	16	15	44
P. Activa (KW)	13	14	14	41
P. Inductiva (Kvar)	2	1	0	3
P. Capacitiva (Kvar)	0	0	0	0
Factor pot.	0.92	0.93	-0.94	0.93
Frecuencia (Hz)	60			

C-D				
	L1	L2	L2	III
Tension Comp. (V)	205.4	204.5	203.53	204.47
Tension (V)	118.06	119.6	116.51	118.05
Corriente (A)	69.6103	47.2972	68.1332	61.565
P. Aparente (kVA)	8.1709	5.6253	7.8881	2.17473
P. Activa (kW)	7.7624	5.4682	7.5424	2.08045
P. Inductiva (kvar)	2.0741	0.9113	2.0113	5.0282
P. Capacitiva (kvar)	0	0	0	0
Factor pot.	0.944	0.966	0.95	0.954
Frecuencia (Hz)	60			

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Administración. *Planos eléctricos e instalaciones*. p. 53.

Después de haber analizado los resultados se puede evidenciar que el uso de la energía es adecuado y cumple los parámetros establecidos por lo que para una mejora continua se propone realizar la evaluación de equipos como paneles solares que ayudaran a tener una mejora en la eficiencia energética, esto ayudara a que los edificios tengan una mejor tecnología y que se puede ser más eficiente.

3.4. Análisis de consumo y facturación actual y detecciones de oportunidades de mejora

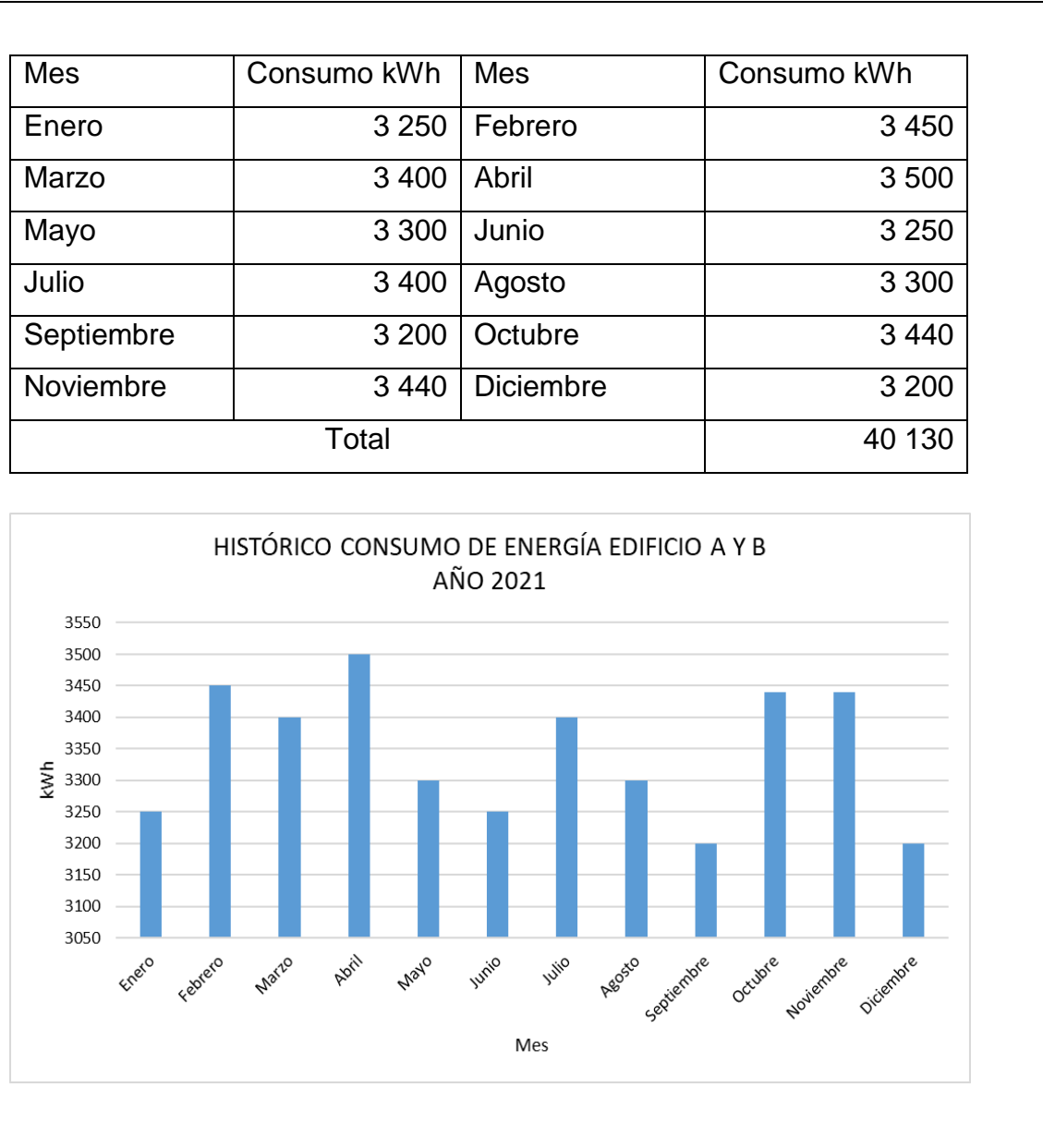
En la figura 24 se detalla la factura del consumo de los edificios A y B.

Figura 24. Consumo Edificio A – B



Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala.

Figura 25. **Consumo Edificio A – B**



Fuente: elaboración propia.

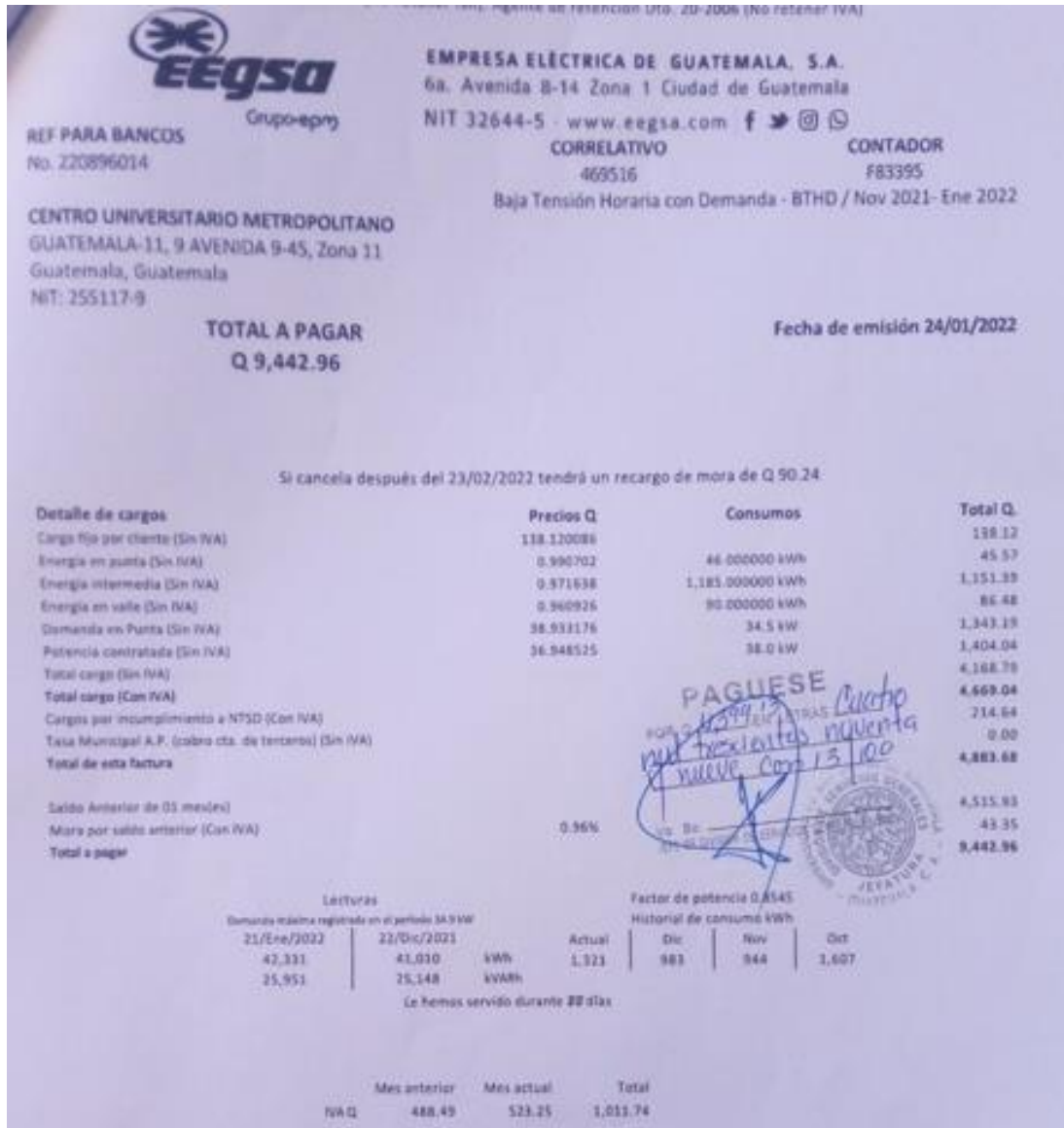
El precio por kWh es de Q1.1 (Q0.99 sin IVA + Q0.11 IVA), el precio es sobre la Energía intermedia consumida sin incluir la Demanda en punta y Potencia contratada que son valores fijos.

Tabla XXVII. Precio por kWh

	Demanda de energía de la RED Edificios A y B kWh	Pago de energía Q
Enero 2021	3 250	Q3 603,60
Febrero 2021	3 450	Q3 825,36
Marzo 2021	3 400	Q3 769,92
Abril 2021	3 500	Q3 880,80
Mayo 2021	3 300	Q3 659,04
Junio 2021	3 250	Q3 603,60
Julio 2021	3 400	Q3 769,92
Agosto 2021	3 300	Q3 659,04
Septiembre 2021	3 200	Q3 548,16
Octubre 2021	3 440	Q3 814,27
Noviembre 2021	3 440	Q3 814,27
Diciembre 2021	3 200	Q3 548,16
TOTAL	40 130	Q44 496,14

Fuente: elaboración propia.

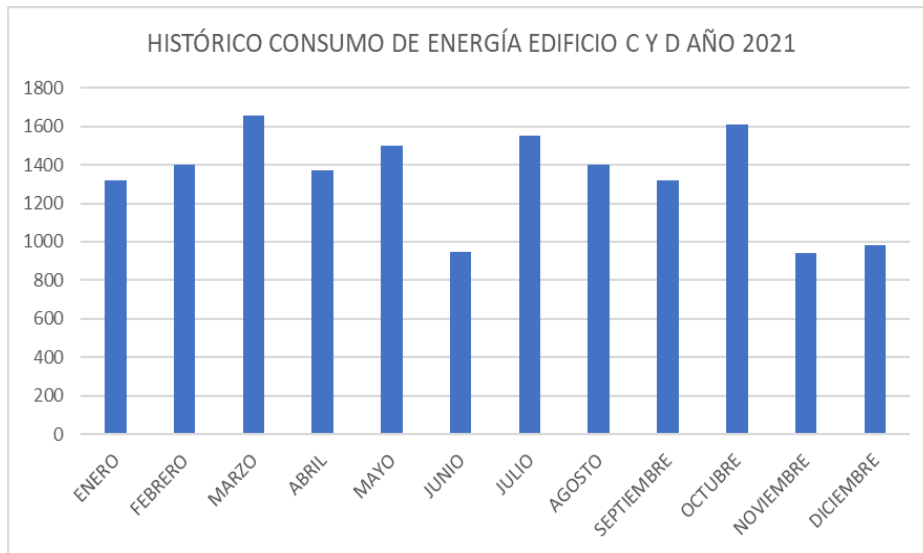
Figura 26. Consumo Edificio C – D



Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala.

Figura 27. Consumo Edificio C – D

Mes	Consumo kWh	Mes	Consumo kWh
Enero	1 321	Febrero	1 400
Marzo	1 654	Abril	1 370
Mayo	1 500	Junio	950
Julio	1 554	Agosto	1 400
Septiembre	1 321	Octubre	1 607
Noviembre	944	Diciembre	983
Total			16 004



Fuente: elaboración propia.

El precio por kWh es de Q1.1 (Q0.99 sin IVA + Q0.11 IVA), el precio es sobre la Energía intermedia consumida sin incluir la Demanda en punta y Potencia contratada que son valores fijos.

Tabla XXVIII. Consumo de energía

	Demanda de energía de la RED Edificios C y D kWh	Pago de energía Q
Enero	1 321	Q1 466,31
Febrero	1 400	Q1 554,00
Marzo	1 654	Q1 835,94
Abril	1 370	Q1 520,70
Mayo	1 500	Q1 665,00
Junio	950	Q1 054,50
Julio	1 554	Q1 724,94
Agosto	1 400	Q1 554,00
Septiembre	1 321	Q1 466,31
Octubre	1 607	Q1 783,77
Noviembre	944	Q1 047,84
Diciembre	983	Q1 091,13
TOTAL	16 004	Q17 764,44

Fuente: elaboración propia.

Al año el Centro Universitario está pagando un aproximado de Q62 260 de energía pura al año en el capítulo de 3.6 se diseñará un sistema de alimentación por medio de paneles solares para que se logre tener un ahorro de aproximadamente 60 % de la factura actual.

3.5. Diseño y cálculo de propuesta de mejoras a la calidad de potencia eléctrica

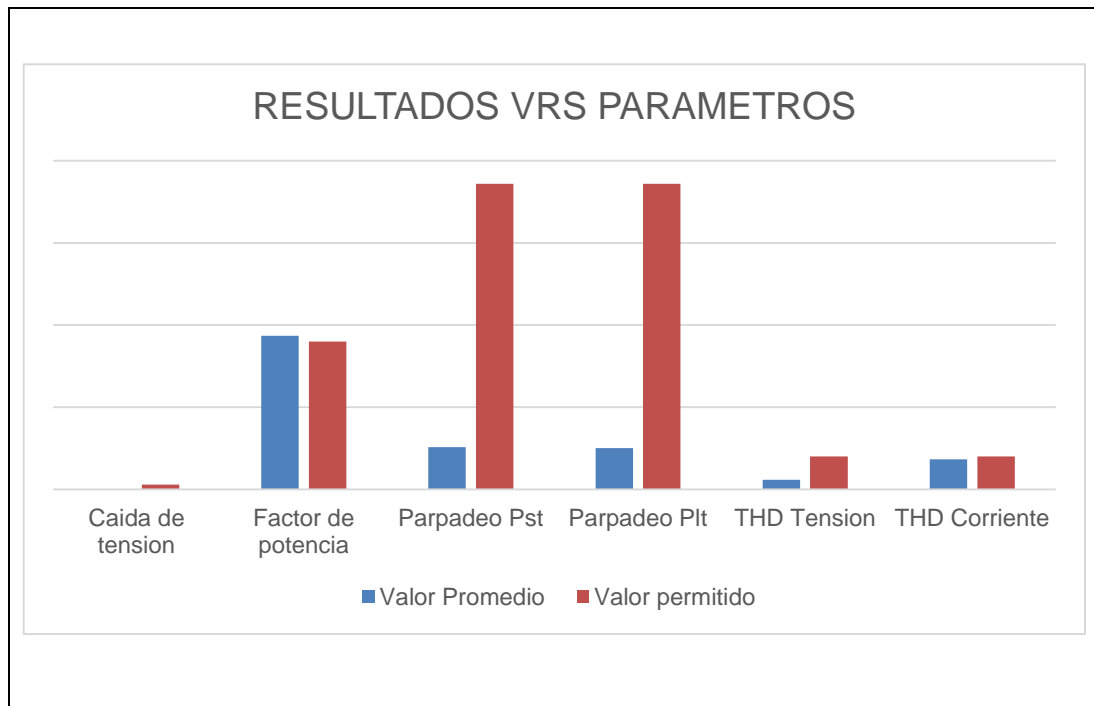
Según los datos obtenidos en las diferentes mediciones a nivel de calidad de energía los edificios se encuentran dentro de los parámetros establecidos, y no sería necesaria alguna intervención para mejorar estos parámetros.

En la figura 28, se presentan los valores obtenidos en las mediciones, los cuales se comparan con los valores permitidos por las normas.

Figura 28. **Comparación de valores obtenidos vs. valores permitidos**

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Valor Permitido	Artículo norma	Cumple (S/N)
Frecuencia	59.93	60.13	59.1-60.1	4.41 CNEE	SI
Caída de tensión	0	0	3%	24 NTSD	SI
Factor de Potencia	0.89	0.98	0.85	37 NTSD	SI
Parpadeo P_{st}	0.231	0.284	1.86	37 NTSD	SI
Parpadeo P_{lt}	0.236	0.267	1.86	38 NTSD	SI
THD Tensión	5.29 %	6.37 %	20 %	32 NTSD	SI
THD Corriente	15.18 %	21.32 %	20 %	42 NTSD	NO

Continuación de la figura 28.



Fuente: elaboración propia.

Como se observa la mayoría de los datos obtenidos en las correspondientes mediciones están dentro de los parámetros permitidos por las normas y regulaciones del servicio eléctrico en Guatemala.

En cuanto a la frecuencia la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece que la misma deberá mantenerse dentro de los límites que establecen las Normas Técnicas (59.9-60.1), para condiciones normales, mientras que para condiciones de emergencia (59.8-60.2), y de emergencia.

Uno de los aspectos que es muy importante en cuanto a la calidad de la potencia es el número de interrupciones en el servicio o caídas de tensión y como se puede observar no ocurrió ningún evento de esta naturaleza.

El factor de potencia representa un factor que dimensiona la cantidad de potencia real, respecto a la potencia total o potencia aparente que demanda una instalación. Según la Norma NTSD artículo 49, el valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo con la potencia del usuario, de la siguiente manera:

- Usuarios con potencias de hasta 11 kW el límite mínimo es de 0.85
- Usuarios con potencias superiores a 11 kW el límite mínimo es de 0.90

A mayor factor de potencia, mayor será la carga real que se pueda aprovechar en el sistema y se puede observar que está dentro de los parámetros aceptables

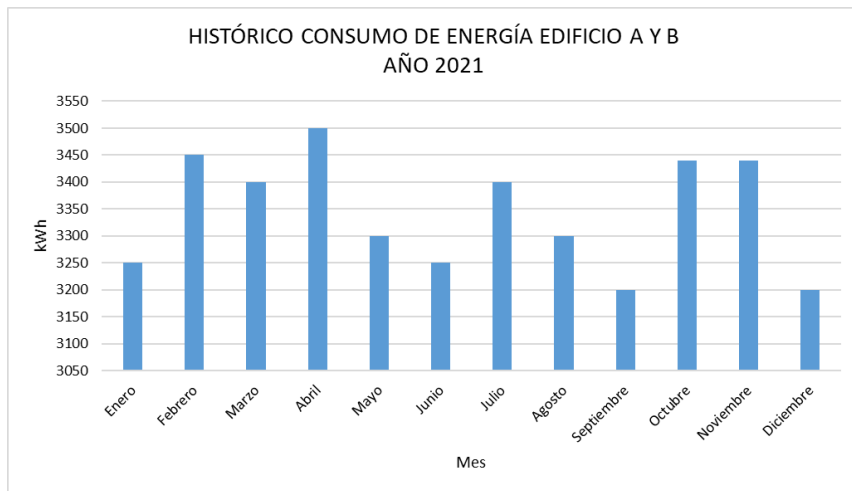
El parpadeo de la iluminación también está dentro del rango aceptable según el artículo 37, y los armónicos en la tensión, mientras que en la corriente si se observa, que rebasa los límites establecidos porque en el punto máximo se tiene 21,32 %, según el artículo 43 dice que el control de la generación de armónicas de parte del CUM es responsabilidad de los distribuidores, como el desarrollo de las acciones necesarias para que se dé solución al problema, realizando mediciones en los puntos que considere necesario.

3.6. Diseño y cálculo de propuesta de mejoras en eficiencia energética

Se realizó un diseño para la implantación de paneles solares para los edificios A-B tomando en consideración el consumo del año 2021, como estos edificios son los que consumen mayor cantidad de Potencia en el año se escogió estos edificios. A continuación, describo el consumo de energía del Edificio A y B para el año 2021.

Figura 29. **Consumo A_B 2021**

Mes	Consumo kWh	Mes	Consumo kWh
Enero	3 250	Febrero	3 450
Marzo	3 400	Abril	3 500
Mayo	3 300	Junio	3 250
Julio	3 400	Agosto	3 300
Septiembre	3 200	Octubre	3 440
Noviembre	3 440	Diciembre	3 200
Total			40 130



Fuente: elaboración propia.

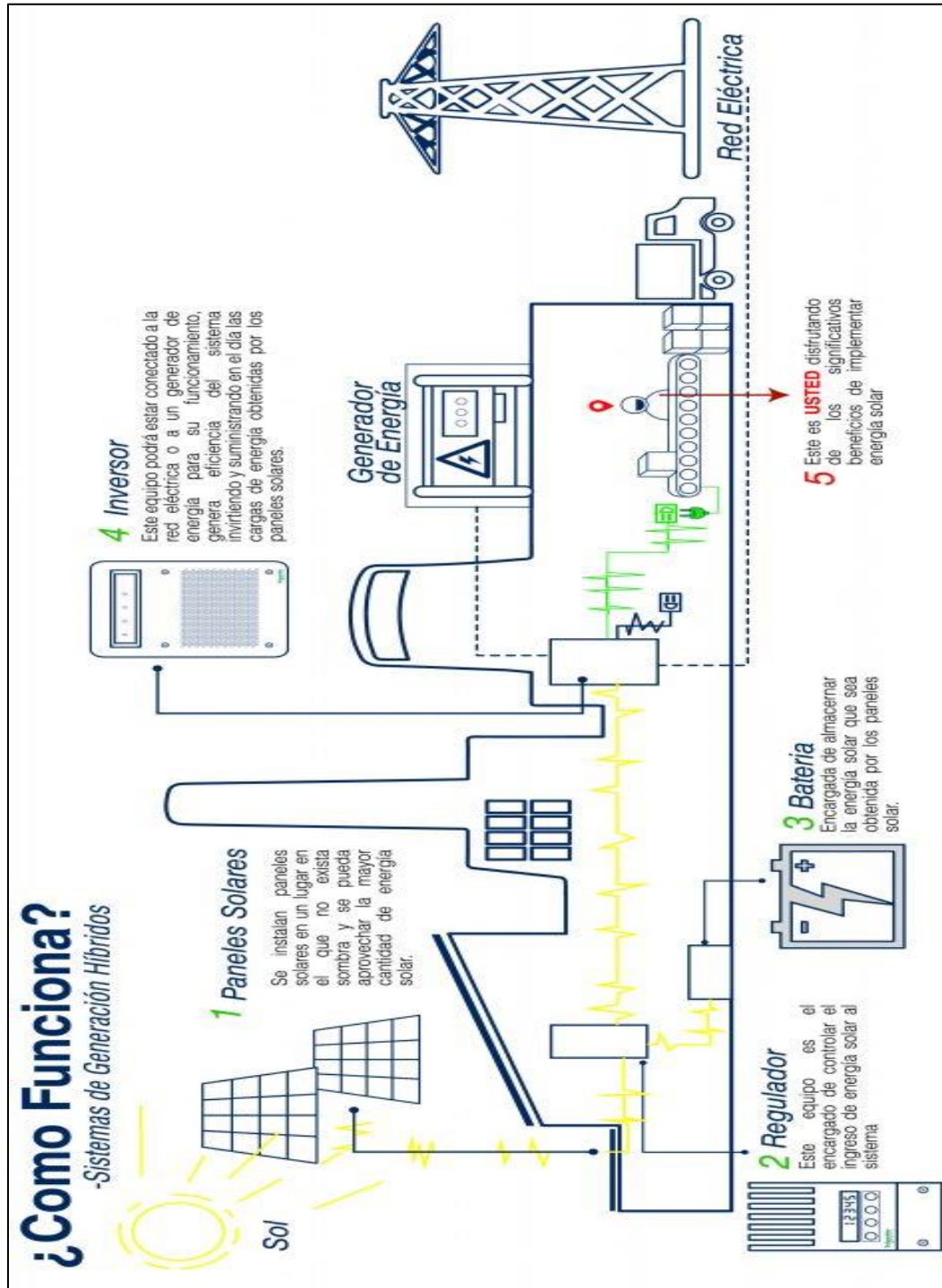
3.6.1. Diseño del generador fotovoltaico

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol para generar energía que dan lugar a los distintos tipos de energía solar: la fotovoltaica (que transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares), la fototérmica (que aprovecha el calor a través de los colectores solares), y termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta).

La energía solar se genera cuando la luz solar incide en los paneles solares, que luego convierten la energía solar en electricidad apta para los hogares. Esta transformación fotovoltaica es la forma en que se produce la energía solar.

Los paneles fotovoltaicos toman la luz solar para generar una corriente directa, que es transferida y aprovechada por la mayoría de los equipos eléctricos. La energía generada pasa a través de un medidor, que la cuantifica. Luego continúa hacia una caja de suministro eléctrico, donde se distribuye hacia la red del lugar.

Figura 30. Funcionamiento de sistemas de generación híbridos



Continuación de la figura 30.

1. Paneles solares: los paneles solares se componen de células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC), durante las horas del día.
2. Inversor: este dispositivo es el que convierte la electricidad generada por los paneles solares en la electricidad de corriente alterna (AC).
3. Panel eléctrico: la electricidad de corriente alterna se envía desde el inversor a su tablero eléctrico para accionar las luces y aparatos con energía solar. El cuadro eléctrico es a menudo llamado “caja de interruptores.”
4. Medidor de utilidad: el contador de servicios mide el consumo de energía. En realidad, va hacia atrás cuando el sistema genera más energía de la que necesita inmediatamente. Este exceso de energía solar compensa la energía que se utiliza por la noche. Esto se denomina medición neta.

Fuente: SEI Energy. *Qué es y cómo se produce la energía solar.*

<https://www.seienergy.com.co/que-es-y-como-se-produce-la-energia-solar/>. Consulta: enero de 2022.

Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar calor o electricidad. Según estos dos fines se puede distinguir entre colectores solares, que producen agua caliente (generalmente de uso doméstico), utilizando la energía solar térmica, y paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas del panel.

Los paneles solares fotovoltaicos constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.

Los materiales más utilizados para fabricar estas células son el arseniuro de galio (GaAs), que se utiliza en otros dispositivos electrónicos complejos, y el silicio (Si), de menor coste económico y que se utiliza también en la industria microelectrónica. Las células de silicio son las más comunes y utilizadas. El rendimiento de las células fotovoltaicas depende de la estructura tridimensional interna que tengan estas láminas de silicio. Según esta estructura se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Células de silicio monocristalino: constituido por un solo cristal de grandes dimensiones que es cortado en finas láminas, generalmente de azul uniforme. Son las más avanzadas, el coste de fabricación es superior y proporcionan un superior rendimiento bajo determinadas condiciones.
- Células de silicio policristalino: están constituidas por varios cristales, tienen un color azul no uniforme, aunque las últimas técnicas de fabricación ya otorgan de mayor uniformidad al aspecto de la célula.

3.6.1.1. Número de paneles en serie

El rango de voltaje del seguidor de máxima potencia (MPPT), del inversor seleccionado es de $V_{mppt-min} = 277 \text{ V}$ a $V_{mppt-max} = 480 \text{ V}$ por lo que la

variación de voltaje del arreglo en serie de paneles solares debe estar en este intervalo para garantizar la máxima eficiencia del inversor.

Como las variaciones del voltaje de cada panel solar debido a las variaciones de temperatura de operación son de $V_{mpp (tc-max)} = 41.6 \text{ V}$ a $V_{co (tc-min)} = 49.8 \text{ V}$, el número mínimo de paneles solares en serie se encuentra con la siguiente ecuación:

$$np_{min} = \frac{V_{mppt-min}}{V_{c-max}} (t)$$

Al utilizar la ecuación anterior, el número mínimo de paneles solares es:

$$np_{min} = \frac{277 \text{ V}}{41.6 \text{ V}} = 6.65 \approx 7 \text{ paneles}$$

El número máximo de paneles solares en serie se encuentra con la siguiente ecuación:

$$np_{max} = \frac{V_{mppt-max}}{V_{co-c-min}} (t)$$

Al utilizar la ecuación anterior, el número máximo de paneles solares es:

$$np_{max} = \frac{480 V}{49.8 V} = 9.6 \approx 10 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, el número de paneles en serie es de 7 a 10 paneles.

3.6.1.2. Número de filas en paralelo

Para determinar el número de filas en paralelo, el inversor seleccionado posee dos seguidores de máxima potencia MPPT. Según los datos del fabricante, cada seguidor de máxima potencia MPPT soporta 25 amperios, y el número de filas en paralelo por cada seguidor de máxima potencia MPPT es de:

$$N_{filas/MPPT} = \frac{I_{max_{inv}}}{I_{sc}}$$

Al utilizar la ecuación anterior, el número de filas para el inversor es de:

$$N_{filas/MPPT} = \frac{25 \text{ amp}}{14.5 \text{ amp}} = 1.7 \approx 2 \text{ filas/MPPT}$$

$$N_{filas/inversor} = 2 * (2 \text{ MPPT}) = 4 \text{ filas}$$

3.6.1.3. Número de inversores

Para encontrar el número de inversores de 12 kW se analiza el consumo para del edificio, se debe considerar las pérdidas de la planta solar del 20.9 % dada por la eficiencia total, los datos de los kWh/día se multiplican por 1.2.

El número de paneles aproximado para los edificios A -B está dado por la siguiente ecuación, en donde HSP son las horas solares pico promedio de 4.38 horas dado por los datos meteorológicos y los kWp son los kilowatts pico del panel seleccionado de 0.455 kWp.

$$\#Paneles = \frac{kWh(\text{---})}{HSP * kWp} \text{ día}$$

Al utilizar la ecuación anterior, el número de paneles solares es de:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{131.93}{4.38 * 0.455} = 66.2 \text{ Paneles}$$

Como se tiene la posibilidad de utilizar de 7 a 10 paneles por fila, se utilizará el arreglo que mejor convenga.

Tabla XXIX. **Arreglo de paneles**

# Filas	Paneles en Serie	Arreglo de paneles (#Filas*Paneles)
4	7	28
4	8	32
4	9	36
4	10	40

Fuente: elaboración propia.

Se utilizará el arreglo de 32 paneles para efectos prácticos, cada inversor contará de 32 paneles, y el número de inversores está dado por la siguiente ecuación que matemáticamente es la división del número de paneles entre 32.

$$\# \text{ Módulos} = \frac{\# \text{ Paneles}}{32}$$

Al utilizar la ecuación anterior, el número de inversores es de:

$$\# \text{ Módulos} = \frac{66.2}{32} = 2.06$$

Si se utiliza el arreglo de 36 paneles, el número de inversores sería de 1,8, y el arreglo de 32 es la opción correcta, aunque en dos filas en vez de utilizar 8 paneles se utilizarán 9 para ajustarse a los 66 paneles requeridos según los cálculos.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

- Área disponible: 1500 m² en edificio B
- Panel solar seleccionado: 455 Wp
- Cantidad de paneles: 66
- Potencia instalada DC: 24.57 kWp
- Área necesaria efectiva de paneles solares: 120 m²
- Inversores necesarios: 2

Tabla XXX. **Resultados obtenidos**

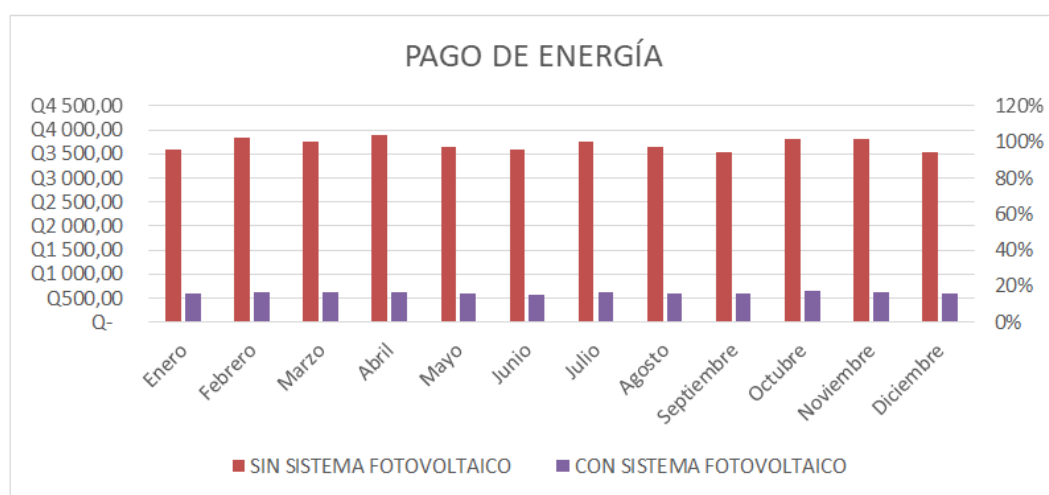
	Irradiación global efectiva del lugar kWh/m²	Energía a la salida del sistema fotovoltaico kWh	Demanda de energía de los edificios A y B kWh	Energía solar autoconsumida kWh	Energía solar inyectada a la red kWh	Energía comprada a la red kWh
Enero	165,7	3 656	3 250	1 336	2 153	1 914
Febrero	156,0	3 418	3 450	1 431	1 825	2 019
Marzo	175,7	3 803	3 400	1 441	2 172	1 959
Abril	165,8	3 604	3 500	1 500	1 914	2 000
Mayo	155,5	3 430	3 300	1 414	1 823	1 886
Junio	143,0	3 197	3 250	1 410	1 602	1 840
Julio	153,2	3 385	3 400	1 422	1 768	1 978
Agosto	158,8	3 500	3 300	1 401	1 903	1 899
Septiembre	145,5	3 183	3 200	1 262	1 732	1 938
Octubre	153,1	3 350	3 440	1 395	1 769	2 045
Noviembre	150,9	3 342	3 440	1 422	1 754	2 018
Diciembre	160,9	3 552	3 200	1 327	2 063	1 873
Año	1 884,1	41 420	40 130	16 761	22 478	23 369

Los datos de la irradiación global se consiguen en internet solamente se necesitan las coordenadas exactas del lugar.

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Análisis económico

	SIN SISTEMA FOTOVOLTAICO		CON SISTEMA FOTOVOLTAICO		Ahorro proyectado	Ahorro en porcentaje
	Demanda de energía de la red edificios A y B kWh	Pago de Energía Q	Demanda de energía de la red edificios A y B kWh	Pago de energía Q		
Enero	3 250	Q3 603,60	1 914	Q600,23	Q3 003,37	83 %
Febrero	3 450	Q3 825,36	2 019	Q633,16	Q3 192,20	83 %
Marzo	3 400	Q3 769,92	1 959	Q614,34	Q3 155,58	84 %
Abril	3 500	Q3 880,80	2 000	Q627,20	Q3 253,60	84 %
Mayo	3 300	Q3 659,04	1 886	Q591,45	Q3 067,59	84 %
Junio	3 250	Q3 603,60	1 840	Q577,02	Q3 026,58	84 %
Julio	3 400	Q3 769,92	1 978	Q620,30	Q3 149,62	84 %
Agosto	3 300	Q3 659,04	1 899	Q595,53	Q3 063,51	84 %
Septiembre	3 200	Q3 548,16	1 938	Q607,76	Q2 940,40	83 %
Octubre	3 440	Q3 814,27	2 045	Q641,31	Q3 172,96	83 %
Noviembre	3 440	Q3 814,27	2 018	Q632,84	Q3 181,43	83 %
Diciembre	3 200	Q3 548,16	1 873	Q587,37	Q2 960,79	83 %
TOTAL	40 130	Q44 496,14	23 369	Q7 328,52	Q37 167,63	84 %



Fuente: elaboración propia.

3.6.1.4. Ángulo de inclinación de los paneles

Siempre que sea posible los módulos fotovoltaicos deben situarse perpendicularmente a la dirección de la radiación solar para obtener el mayor rendimiento.

Para instalaciones que carecen de sistemas de seguimiento se emplea la siguiente ecuación para calcular el ángulo óptimo de inclinación β , siendo φ la latitud del lugar:

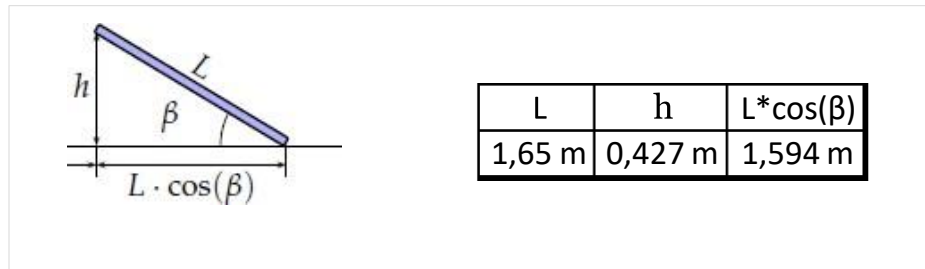
$$\beta = 0.96 * \varphi$$

Al tomar el promedio de 14.61° como el valor de la latitud de los edificios, el ángulo óptimo para los paneles solares es de:

$$\beta = 0.96 * \varphi = 0.96 * 14.61^{\circ} = 14.02^{\circ} \approx 15^{\circ}$$

Esta aproximación es porque se recomienda tener 15° de inclinación mínima para no acumular polvo en días de verano y para no acumular agua en días de invierno. Con este valor de inclinación las dimensiones de altura y área inferior del panel quedan como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32. Dimensiones de altura y base del panel solar



Fuente: elaboración propia.

3.6.1.5. Distancia entre filas de paneles

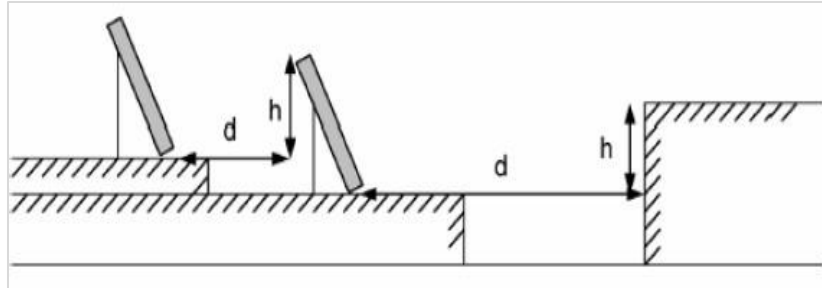
Según se enuncia en el código de la edificación, sección HE5 sobre energía solar fotovoltaica, “las filas de módulos deben situarse a una distancia que garantice al menos cuatro horas sol en torno al mediodía del solsticio de invierno, el 21 de diciembre de cada año”.⁹

Como se muestra en la figura, si la altura del obstáculo que supone la fila de módulos es h, la distancia mínima d a la que deberán instalarse los módulos se calcula con la siguiente ecuación siendo ϕ la latitud del lugar.

$$d_{min} = \frac{h}{\tan(61^\circ - \phi)}$$

⁹ MORO VALLINA, Miguel. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. p. 92.

Figura 33. **Distancia mínima entre filas**



Fuente: Código Técnico de la Edificación. *Sección HE5 Energía solar fotovoltaica*. p. 32.

Al utilizar la ecuación anterior, la distancia mínima entre las filas de paneles solares es de:

$$d_{\min} = \frac{0.427}{\tan(61 - 14.61)} = \frac{0.427}{1.0497} = 0.406 \text{ m}$$

Para encontrar la distancia máxima entre las filas se debe tomar en cuenta que tanto espacio se tiene disponible para colocar las filas. Para tener una idea del porcentaje de aprovechamiento del área a utilizar se utiliza un parámetro denominado GCR (Ground Coverage Ratio, razón de cubrimiento del terreno), que es la relación entre el área del generador y el área de terreno ocupado (por tanto, siempre será $GCR < 1$). Este factor da una idea del nivel de ocupación de terreno que depende del modo de seguimiento del generador.

El inverso de este parámetro es la Razón de Ocupación de Terreno (ROT, o Ground Requirement Ratio, GRR), relación entre el área de terreno necesaria para ubicar un generador de un área determinada para obtener el factor de sombras requerido ($ROT > 1$).

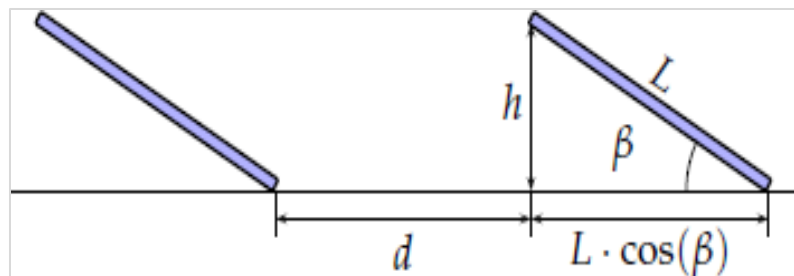
Para encontrar la ROT y la GCR del generador fotovoltaico se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$ROT = \frac{\text{Area sombreada}}{\text{Area del panel}} = \frac{d + L \cos \beta}{L}$$

$$GCR = \frac{1}{ROT} = \frac{L}{d + L \cos \beta}$$

Las dimensiones en las ecuaciones anteriores se muestran en la siguiente figura:

Figura 34. Dimensiones para el cálculo de ROT y GCR



Fuente: Código Técnico de la Edificación. Sección HE5 Energía solar fotovoltaica, p. 33.

Los valores de ROT recomendados para un buen diseño se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XXXI. **Valores recomendados para ROT y GCR**

Sistema	ROT	GCR=1/ROT	Área Aprovechable
Fijo	2	0,50	50 %
Un eje	4	0,25	25 %
Doble eje	6	0,166	16,67 %

Fuente: elaboración propia.

Para hallar la distancia máxima entre las filas se toma el valor de ROT=2:

$$2 = \frac{d_{\max} + L \cos \beta}{L}$$

$$d_{\max} = L * (2 - \cos \beta) = 1.594 * (2 - \cos 15^\circ) = 1.648 \text{ m}$$

Por lo tanto, la separación de las filas del generador fotovoltaico toma valores entre 0.406 m a 1.648 m.

Como criterio de diseño se toma una separación de 0.90 m como caminamiento para trabajos de limpieza y mantenimiento sin afectar la generación por sombreado y sin desperdiciar espacio.

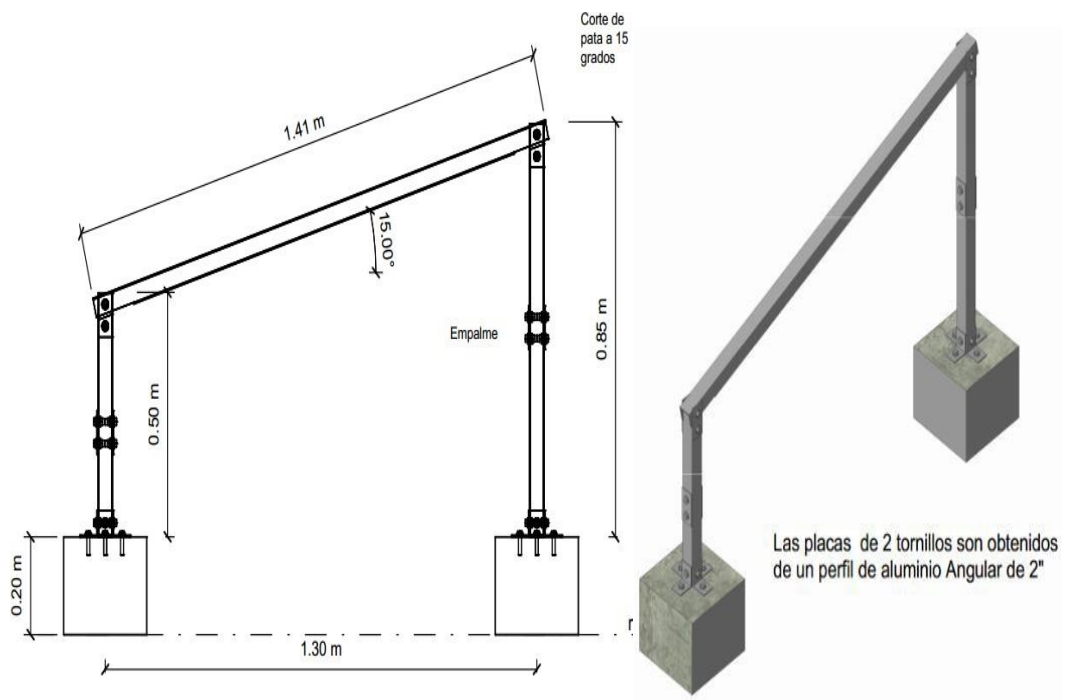
3.6.1.6. Estructuras

Para la construcción de las patas de las estructuras se utiliza tubos de aluminio y para los rieles se utiliza UniStruct, porque en las terrazas se acumula agua por el bordillo, se recomienda usar bloques de cemento en las patas de la estructura de una altura de 20 cm.

Cada bloque estará atornillada a la loza por medio de un tornillo con tarugo. Se recomienda pegar con adhesivo SIKA131 los bloques de concreto en la terraza, y para las perforaciones en la terraza se recomienda usar adhesivo SIKA31 para sellar los tarugos en los bloques y la loza.

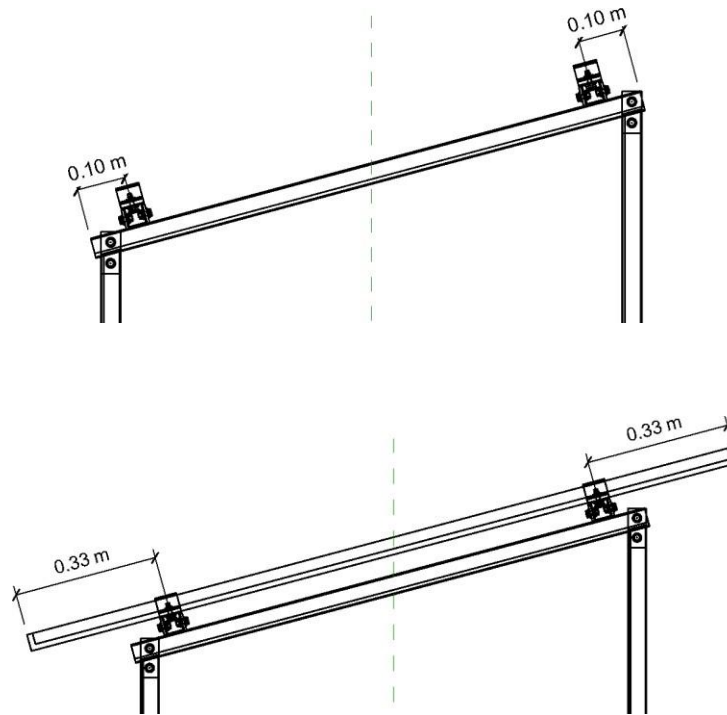
Cada pata de la estructura tiene un corte a 150 para garantizar un correcto apoyo con la parte inclinada de 150. Las dimensiones de las patas y su aspecto se muestran en la siguiente figura.

Figura 35. Pata de la estructura



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Figura 36. **Colocación simétrica de los tendales y los paneles en la estructura**

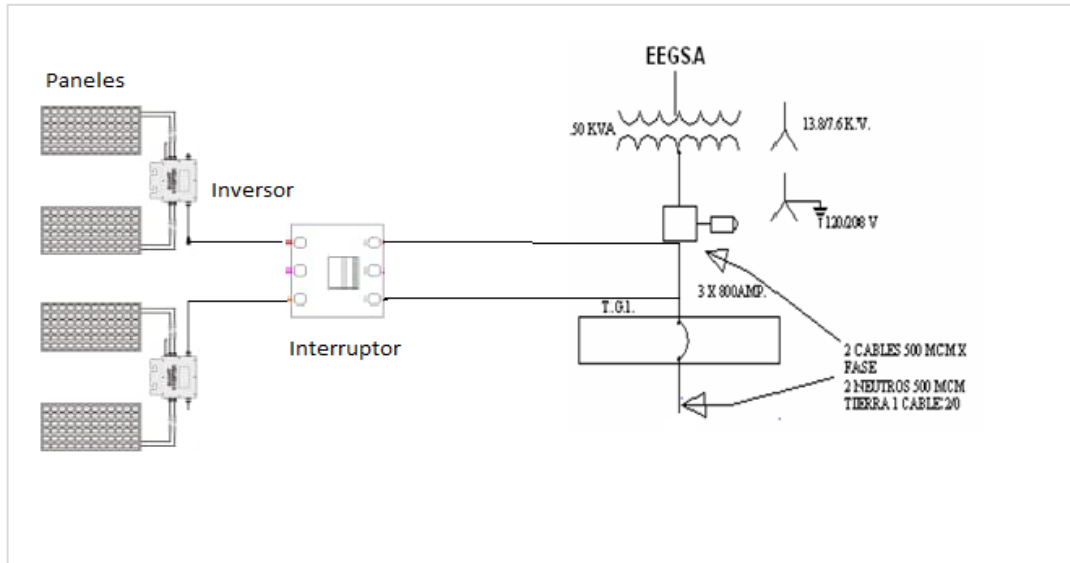


Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

3.6.1.7. **Conexión del sistema hacia el tablero**

El diseño de conexión del sistema se muestra en la siguiente figura.

Figura 37. **Conexión de sistema a la red**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

Los paneles se instalarían en el Edificio B en el techo de la siguiente manera.

Figura 38. **Área disponible: 1500 m2 en Edificio B**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

3.6.1.8. Requisitos para conexión del sistema a la red

En la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (NTGDR), se tienen la normativa para la conexión al sistema.

En el capítulo IV Autorización y medición neta de energía eléctrica de usuarios con excedentes de energía en el punto de consumo.

Artículo 36. Autorización para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía. En el caso de usuarios autoprodutores que cuenten, dentro de sus instalaciones de consumo, con excedentes de energía renovable para inyectarla al sistema de distribución, pero que manifiesten expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deberán informar al distribuidor involucrado de tal situación, por medio del formulario correspondiente.

Cumplido este requisito podrán operar en esta modalidad. Estos usuarios no requerirán de autorización alguna; deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados, que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las NTSD.

Artículo 37. Plazo para Inspección Técnica. El distribuidor luego de recibida la notificación por parte del interesado, tendrá un plazo de quince (15), días para realizar una inspección técnica de las instalaciones del UAEE con el objetivo de verificar que cumple con lo requerido en esta norma. Si los

resultados de la inspección son positivos, el distribuidor emitirá una constancia al interesado donde conste que las instalaciones han sido revisadas, y procederá a la instalación –cuando corresponda- del medidor correspondiente, en un plazo no mayor a 28 días de recibida la notificación por parte del interesado.

Artículo 39. Sistema de Medición para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía. El sistema de medición de energía eléctrica de las instalaciones de un usuario autoprodutor con excedentes de energía, deberá tener la característica de medición, registro y lectura en forma bidireccional. En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición.


Artículo 40. Lectura y Crédito por Energía Inyectada al Sistema de Distribución, por parte de usuarios autoprodutores con excedentes de energía (Net metering). Los usuarios autoprodutores con excedentes de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución. Para efectos de la facturación mensual del usuario, el distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al Usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución.

El distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del UAEE; no obstante, el distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada usuario, según la tarifa correspondiente. Para el caso de

tarifas sin medición de potencia, el distribuidor podrá cobrar los cargos por distribución correspondientes en función de la energía que entregue al usuario. Todos los cargos deben ser detallados en la factura.

Agrego el formulario que hay que llenar y presentar en la Eegsa para la conexión al sistema y que se encuentra para descargar en la página de la Eegsa.

Figura 39. **Formulario para autoproducidos con excedente de energía**



EEGSO
Grupo-egpp

Departamento de Atención al Cliente
Formulario para usuario autoproducido con excedente de energía

FIRMA DEL SOLICITANTE: _____

FORMULARIO para que los usuarios AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA, Proporcionen datos sobre las unidades de GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE ubicadas dentro en su Instalación.

1. Datos generales del usuario:

Nombre del usuario o representante legal: _____

Razón social de la empresa o entidad: _____

Dirección: _____

Teléfono fijo: _____ Celular: _____ E-mail: _____

2. Localización de la Instalación:

Dirección: _____

Número de contador: _____ Correlativo: _____

3. Datos generales del proyecto:

3.1 Fuente de energía renovable: marque la(s) que corresponda(n):

Hidráulica	<input type="checkbox"/>	Eólica	<input type="checkbox"/>	Biomasa	<input type="checkbox"/>
Vapor	<input type="checkbox"/>	Micro turbina	<input type="checkbox"/>	Solar	<input type="checkbox"/>
Geotérmica	<input type="checkbox"/>	Otra:	_____		

3.2 Especificaciones técnicas:

Número de Unidades Generadoras: _____ Potencia total instalada: _____ KW

Favor describir las características: _____

3.3 Estatus del Sistema generador:

Instalado En Proceso

3.4 Tipo de Acometida:

100 Amperios	<input type="checkbox"/>	200 Amperios	<input type="checkbox"/>	Medición Primaria	<input type="checkbox"/>
Medición secundaria	<input type="checkbox"/>	Tablero Múltiple	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>

Continuación de la figura 39.

Hoja No. 2
Formulario para usuario autoprodutor

3.5 Voltaje y carga contratada del servicio:

Monofásico (hasta 48 KW) Voltaje _____ Carga (KW) _____

Trifásico Voltaje _____ Carga (KW) _____

3.6 Condición actual de la acometida:

Acoplada Independiente Dentro de la propiedad privada

4. Inversor:

Fabricante: _____ Modelo: _____

Número de Serie: _____

Tipo de Conmutación: _____

5. Datos de la Empresa Constructora:

Nombre de la Empresa constructora: _____

Teléfono Contacto: _____ E-mail: _____

6. Documentos que debe adjuntar:

6.1 Fotocopia de DPI de la persona que se constituirá como usuario autoprodutor.

6.2 Si el servicio se solicita a nombre de una empresa o razón social, fotocopia de DPI y del nombramiento del representante legal.

6.3 Si el formulario lo presenta una persona diferente al propietario, presentar carta firmada por el Interesado en donde autoriza a una tercera persona o entidad a realizar los trámites correspondientes.

Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energía eléctrica y solicito la conexión del medidor bidireccional respectivo para ser registrado como Autoprodutor con excedente de energía, una vez mi instalación cumpla con la Normativa Vigente.

(En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición).

Lugar y fecha: _____

Firma del usuario: _____

Favor de llenar claramente todos los datos de este formulario, los cuales son de suma importancia para atender su solicitud.

Para mayor información comunicarse a Teleservicio 2277-7000
Consultas@eeqsa.net - www.eeqsa.com

Distribución Gratuita

Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala.

Aproximadamente la inversión sería de Q310,000 que incluiría la instalación de 66 paneles y 2 inversores, con el ahorro por año de Q37,167.63 (84 % de ahorro por año), el retorno de la inversión sería de 8.3 años.

Tabla XXXII. **Características de los paneles y de inversores cotizados**

PV module		Inverter	
Manufacturer	Longi Solar	Manufacturer	Growatt New Energy
Model	LR4-72 HIH 455 M G2	Model	Growatt 12000TL3-US
	(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power	455 Wp	Unit Nom. Power	12.0 kWac
Number of PV modules	54 units	Number of inverters	2 units
Nominal (STC)	24.57 kWp	Total power	24.0 kWac
Modules	6 Strings x 9 In series	Operating voltage	120-600 V
At operating cond. (30°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.02
Pmpp	24.19 kWp		
U mpp	363 V		
I mpp	67 A		

Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala.

3.6.1.9. **Mantenimiento para paneles solares**

Pasos para la realización del mantenimiento de paneles solares:

- Paso 1: limpieza de paneles solares con trapos de fibra y limpia vidrios cada 3 meses.
- Paso 2: inspección de posibles degradaciones en conductores eléctricos, resistencia de aislamiento.
- Paso 3: revisión de los sistemas de protección en AC y DC.
- Paso 4: inspección del anclaje y tornillos de la estructura una vez al año.
- Paso 5: revisión de inversores.

- Paso 6: revisión de puntos calientes en sistema eléctrico y celdas fotovoltaicas.

4. FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

El diagnóstico tiene como fin la evaluación de las necesidades de capacitación para el personal del edificio del CUM, se realizan entrevistas, reuniones y visitas técnicas con los encargados de los edificios para determinar e identificar los temas que deben impartirse en las capacitaciones y cuáles son las deficiencias o causas que se pueden encontrar actualmente en las tareas de producción del personal y que puedan estar afectando la productividad.

Es necesario describir algunos criterios que deben tomarse en cuenta para planificar las capacitaciones:

- Personal encargado de las capacitaciones
- Personal a quienes se dirigen las capacitaciones
- Concientizar a los involucrados de la importancia del uso de los edificios
- Motivar al personal capacitado
- Temas de equipos de energía

Para conocer las necesidades de capacitación se puede evidenciar necesidad por la que los empleados del edificio tengan conocimiento acerca de:

- Ultrasonido
- Termo gráfica
- Calidad de energía

Se procedió a realizar una propuesta de capacitación que ayude a que conozcan de estos equipos a través de explicaciones de los mismos utilizando diapositivas por medio de la metodología de capacitación.

4.2. Propuesta de capacitación

Un plan de capacitación es un proceso el cual debe estar orientado a los objetivos de los edificios y que se propone llevar a cabo con base a las necesidades que existen en dicho edificio.

Se busca obtener los mayores beneficios que aporta un plan de capacitación, y se pueden mencionar los siguientes:

- Mejorar habilidades y conocimientos del personal
- Mejorar la utilización de los equipos
- Dar a conocer los equipos planteados

4.3. Recursos para la capacitación

La optimización de los recursos disponibles para la capacitación del personal debe ser la prioridad para que el programa de capacitación pueda llevarse a cabo.

Los recursos básicos necesarios para poder realizar el programa de capacitación son el recurso humano y el material, este programa proporcionara ventajas significativas a los colaboradores del CUM, según los resultados obtenidos los cuales serán evaluados a partir de una bitácora para poder medir si el conocimiento llego a los empleados.

Los recursos mencionados se describen brevemente a continuación:

- **Recurso humano:** son muchos los involucrados dentro del plan de capacitación, y se mencionan a continuación:
 - Capacitadores
 - Personal operativo
 - Jefes de edificios
 - Mantenimiento


- **Recursos materiales:** se deben aprovechar la infraestructura con la que se cuenta, a continuación, se presentan algunos materiales con los que se debe contar para llevar a cabo el plan.
 - Salón para las capacitaciones
 - Sillas para el personal
 - Pizarrón
 - Papelería y útiles en general
 - Para este caso es muy importante contar con equipo de cómputo, internet y programa para capacitaciones virtuales.

4.4. Práctica propuesta

Se recomienda la utilización de metodología de capacitación a continuación se adjunta imágenes de la capacitación brindada:

Figura 40. **Capacitación de mantenimiento preventivo**

Capacitación Mantemiento Preventivo



PRUEBA DE ULTRASONIDO

Las descargas parciales, la arborescencia, el arco y el efecto corona producen ionización que perturba las moléculas de aire circundantes. Un Ultraprobe detecta los sonidos de alta frecuencia producidos por estas emisiones y las traduce (mediante la modulación de señales) al rango audible.

Cada emisión emite cierta calidad acústica específica que es escuchada en los audífonos y su intensidad de señal es observada en la pantalla del instrumento. Estos sonidos pueden ser grabados y analizados a través del software de análisis espectral para hacer diagnósticos y reportes .

2

Continuación de la figura 40.



PRUEBA DE ULTRASONIDO

Normalmente un equipo eléctrico debería de ser silencioso, aunque existen equipos como los transformadores que pueden producir un zumbido constante a 50/60 ciclos o un ruido mecánico constante. Estos sonidos no deben de ser confundidos con los sonidos erráticos y no continuos de la ionización o descargas.

3



PRUEBA DE ULTRASONIDO



4

Continuación de la figura 40.



PRUEBA DE TERMOGRAFIA

Un estudio termográfico es un método que permite **medir la temperatura de un cuerpo u objeto que está a cierta distancia gracias a la radiación infrarroja**. Esta permite transformar la radiación térmica de un cuerpo en una imagen visible para el ojo humano.

Para realizar este estudio **se utiliza una cámara termográfica** que se apuntará hacia el cuerpo que se quiere analizar, sin llegar a entrar en contacto con él. De este modo, se obtendrá una imagen en la que se mostrarán las diferentes temperaturas que se encuentran en un área en concreto.

5



PRUEBA DE TERMOGRAFIA

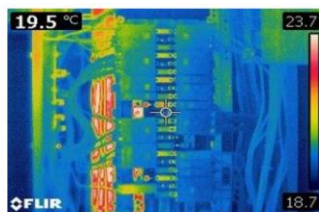
Se trata de una herramienta muy útil empleada en el mantenimiento de las instalaciones de todo tipo, ya que **permite localizar defectos de funcionamiento o de construcción** y evitar futuros problemas. Un estudio con estas características también incluye diversos informes y certificados complementarios relacionados con el estado de las instalaciones a evaluar. Entre ellos, se incluyen certificados de eficiencia energética o proyectos de obra.

6

Continuación de la figura 40.



PRUEBA DE TERMOGRAFIA



7



PRUEBA DE CALIDAD DE ENERGIA

Las mediciones de la calidad de la energía definen el grado en que un suministro práctico se asemeja a la situación ideal en términos de contaminación armónica, potencia reactiva y desequilibrio de carga.

Esto implica mediciones en el suministro incluyendo frecuencia, interrupciones, parpadeo, voltaje armónico e interarmónico, variaciones de voltaje como inmersiones, sobrevoltaje temporal o cambios rápidos y desequilibrio de voltaje.

8

Continuación de la figura 40.



Fuente: elaboración propia.

4.5. Evaluación de la capacitación

Para que un plan de capacitación obtenga resultados positivos deseados, debe tener una evaluación continua, de esta forma el personal capacitador analizara la evolución y el aprendizaje del personal que fue capacitado.

El seguimiento y la mejora continua son las bases para obtener un programa de capacitación exitoso. Como cualquier otro proceso dentro del laboratorio debe estar sujeto a la mejora continua.

Se deberá optar por un esquema que garantice que se realizará el seguimiento correspondiente, para obtener la mejora continua, y este se describe a continuación:

- Planificar
 - Formulación de estrategias y administración de nuevos recursos
 - Observaciones y análisis
 - Establecer indicadores de control

- Hacer
 - Correcta realización de las tareas asignadas
 - Aplicación controlada del plan de capacitación
 - Correcto manejo de registro de datos

- Verificar
 - Revisar que todo se esté cumpliendo de acuerdo a lo planteado

- Actuar
 - Analizar los resultados y estadísticas obtenidas en el proceso
 - Proponer alternativas de mejora

Es importante la realización de estos eventos de mejora para que la Institución pueda llegar a todos sus empleados con el objetivo deseado.

4.6. Costos de la propuesta

El plan de capacitación no tiene un costo asociado, este se realiza de manera virtual y se utilizan los recursos humanos y materiales necesarios y disponibles, para que todos los involucrados (capacitador, personal operativo capacitado, jefes de departamento y laboratorio), puedan obtener la información y conocimiento sobre la implementación del sistema de control de calidad y del plan de mantenimiento.

La retroalimentación del mismo podría generar algún costo mínimo si fuese necesario implementar nuevas metodologías y otros recursos que fueran necesarios ser adquiridos por la gerencia.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que los equipos instalados en el CUM son aires acondicionados, computadoras, UPS, fotocopiadoras, equipos de cafetería, televisión, estos equipos son los que se procedió a realizar el análisis de gastos de energía para poder encontrar la mejora en el ahorro de la misma.
2. La medición e interpretación de los resultados en la medición del sistema de potencia fue que los datos recabados cumplen los estándares de la normativa.
3. Se diseñó un sistema eléctrico de potencia, que fue migrar todas las luces incandescentes a luces LED esto ayudará a la mejora de todo el sistema que actualmente se tiene en el CUM.
4. Los paneles solares son una solución factible para los nuevos edificios y la propuesta en este trabajo se basa en el ahorro energético que se tendrá el cual tiene un impacto muy positivo económicamente se tendrá un impacto de ahorro de Q37167.00 anuales con un retorno de la inversión de 8 años.
5. Luego de haber realizado el comparativo se llegó a la interpretación que el edificio tendrá un ahorro del consumo de energía del 84 % al implementar los paneles solares.

RECOMENDACIONES

1. Determinar un plan para la inversión de los paneles solares porque si se logra tener un ahorro significativo y se contribuye a la utilización de energía renovable.
2. Delinear un plan de mantenimiento preventivo para los equipos del CUM.
3. Normar el apagado de equipos, lámparas que no se encuentren en uso y que con esto se impactará de manera positiva y se tendrá un ahorro de energía contribuyendo así al medio ambiente.
4. Realizar un levantamiento específico si existe un sistema de tierras.
5. Diseñar un plan de estudio de calidad de energía anual a todo el sistema de potencia del CUM.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALCELLS, Joseph; DUARA, Francesc; ESPARZA, Rabel. y PALLÁS, Ramón. *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicas*. Barcelona, España: Alfaomega, 1992. 150 p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Anteproyecto Ley de eficiencia energética, borrador*. Guatemala: CNEE, 2013. 16 p.
3. _____. *Normas técnicas del servicio de distribución, NTSD*. Guatemala: CNEE, 1999. 65 p.
4. DÍAZ, Pablo. *Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución*. México: Mc Graw Hill, 2001. 136 p.
5. Dirección General de Administración de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Planos eléctricos e instalaciones*. 2008. p. 53.
6. Manual de curso. *Puesta a tierra para sistemas eléctricos de CA.*, 2000. 210 p.
7. 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. 187 p.

8. MARTÍN, José Raul. *Diseño de subestaciones eléctricas*. 2a. ed. México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2000. 125 p.
9. SOTO BAUTISTA, Bayron Neftalí. *Estudio general de las instalaciones y calidad de energía eléctrica del edificio S-10 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 70 p.
10. TELLEZ, Eugenio. *Distorsión armónica*. [en línea]. <<https://agngroup.net/papers/Distorsion%20Armonica.pdf>>. [Consulta: marzo de 2022].
11. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Facultades USAC*. [en línea]. <<https://www.usac.edu.gt>> [Consulta: enero de 2022].
12. _____. *Historia USAC*. [en línea]. <<https://www.usac.edu.gt/historia>> [Consulta: enero de 2022].
13. _____. *Manual de la organización*. Guatemala: Editorial Universitaria 2012. p. 86.
14. VARGAS LOPEZ, Aníbal Ildebrando. *Subestaciones (SAGs & DIPs) y su impacto económico en la calidad de la energía e industria guatemalteca*. Trabajo de graduación de Ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 196 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ubicación de áreas del CUM



Fuente: elaboración propia, empleando Power Vision 1.8 c.

