

**Descripción del consumo energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de la
monitorización de los tableros de baja tensión**

Nestor Estid Tellez Santamaria

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Electricista

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A mis padres Alirio y Elsa por su eterna paciencia a pesar de que el día era el más oscuro nunca perdieron la fe, este como muchos ha sido el fruto de su esfuerzo y perseverancia, con este el fruto de la esperanza.

A mi amor Heidy Caro porque en los momentos decisivos de este viaje, fuiste un apoyo incondicional. Cuando el cansancio causaba estragos en mi fuerza de voluntad, ahí estabas tú para apoyarme indicándome el camino y empujándome adelante.

A los profesores Gabriel y German, sin su apoyo, su fe, su paciencia, esto no hubiera sido posible.

Un ser humano en mejora constante ha sido el fruto de su perseverancia.

Agradecimientos

A los compañeros y compañeras del grupo de investigación SIGED, el ambiente de trabajo y compañerismo fueron indispensables para incentivar la armonía y disciplina.

A la comunidad E3T, ser parte es un orgullo que espero representar de la mejor manera.

Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Consideraciones generales	18
1.1 Sistema de monitorización del Edificio	20
1.2 Descripción de la conexión de los dispositivos de los sistemas de medición.....	23
1.3 Estructura de conexión.....	25
1.4 Extracción de información	26
2. Creación de la base de datos	29
3. Análisis de curvas de potencias y factor de potencia obtenidas	36
3.1 Regulación y desbalance de tensión en el tablero general	37
3.2 Energía eléctrica anual del edificio	41
3.2.1 Estimación de la demanda de energía eléctrica de la edificación.	41
3.2.2 Generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico.....	44
3.3 Síntesis las potencias medidas en el tablero general.....	45
3.4 Tablero de emergencia.....	48
3.5 Tableros críticos.....	49
3.5.1 Tablero AA1.	49
3.5.2 Tablero AA2.	51
3.5.3 Tablero RACK.	53

3.5.4 Tablero TP4.	54
4. Análisis de curvas distorsión armónica total y desbalance de las corrientes.....	57
4.1 Distorsión armónica total de corriente THDI	57
4.2 Desbalance de corriente	68
4.3 Histogramas de los valores de distorsión armónica total de corriente (THDI) y desbalance de la corriente.	76
4.3.1 Histogramas del THDI de los tableros de conexión del edificio.	76
4.3.2 Evolución del THDI de los tableros de conexión del edificio.	78
4.3.3 Evolución del desbalance de corriente de los tableros de conexión del edificio.	84
5. Conclusiones	89
Referencias Bibliográficas	91
Apéndices.....	92

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Medidores y tablero.	19
Tabla 2. Tablero con su respectiva acometida atendida, CT y AcuRev.	25
Tabla 3. AcuRev adicionales.	26
Tabla 4. Registros por AcuRev y log.	27
Tabla 5. Codificación de fecha de cada semana.	29
Tabla 6. Tratamiento de la información obtenida de los medidores.	31
Tabla 7. Relación de parámetros de las variables medidos y los respectivos medidores.	35
Tabla 8. Energía eléctrica (kWh) estimada a partir de mediciones, durante el año 2018.	41
Tabla 9. Valores promedio y máximos del THDI (%).	57
Tabla 10. Desbalances de las magnitudes de la I en los tableros del edificio.	69

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Equipos de medición ubicados en la edificación.	21
<i>Figura 2.</i> Esquema vertical E3T con ubicación de dos AcuRev en el sótano y dos en la terraza.	22
<i>Figura 3.</i> Conexión dispositivos de medición en diagrama unifilar.	23
<i>Figura 4.</i> AcuRev 2020 alimentación y conexión RS-485.	24
<i>Figura 5.</i> Modulo terminales externos.	25
<i>Figura 6.</i> Ejemplo de log almacenado.	27
<i>Figura 7.</i> Estructura del manejo de la información según tablero.	33
<i>Figura 8.</i> Ejemplo particular tabla dinámica, día 7 semana 15 de 2018.	34
<i>Figura 9.</i> Hojas de cada archivo.	34
<i>Figura 10.</i> Tensiones de fase para tablero general semanas normalidad (V).	37
<i>Figura 11.</i> Tensiones de fase tablero general semanas vacaciones (V).	39
<i>Figura 12.</i> Variación máxima del factor de potencia tablero general en %.	40
<i>Figura 13.</i> Energía eléctrica por semana para los diferentes tableros.	40
<i>Figura 14.</i> Participación de la demanda de energía eléctrica por tablero y por fase.	43
<i>Figura 15.</i> Participación de demanda de energía eléctrica total por tablero.	44
<i>Figura 16.</i> Energía eléctrica generada por el SFV vs la demanda promedio semanal.	45
<i>Figura 17.</i> Potencia activa promedio (kW) semanal de los tableros de la edificación.	46
<i>Figura 18.</i> Potencia reactiva promedio (kVAr) semanal de los tableros de la edificación.	46

<i>Figura 19.</i> Factor de potencia semanal de los tableros de la edificación.	47
<i>Figura 20.</i> Potencia activa tableros ILU EME, RACK, TBH, TP5 y TRP5 kW.	48
<i>Figura 21.</i> Potencias reactivas promedio tableros ILU EME, RACK, TBH, TP5 y TRP5.....	49
<i>Figura 22.</i> Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero AA1.....	50
<i>Figura 23.</i> Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero AA1..	50
<i>Figura 24.</i> Factor de potencia del tablero AA1	51
<i>Figura 25.</i> Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero AA2.....	51
<i>Figura 26.</i> Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero AA2..	52
<i>Figura 27.</i> Factor de potencia por fase del tablero AA2, CH111, 114, 117 fases a, b y c.	52
<i>Figura 28.</i> Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero RACK	53
<i>Figura 29.</i> Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero RACK.	54
<i>Figura 30.</i> Factor de potencia por fase del tablero RACK, CH111, 114, 117 fases A, B y C.....	54
<i>Figura 31.</i> Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero TP4.....	55
<i>Figura 32.</i> Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero TP4, CH112, 115, 118 fases a, b y c.	56
<i>Figura 33.</i> Factor de potencia por fase del tablero TP4. 111,114 y 117 corresponden a las fases a, b y c.....	56
<i>Figura 34.</i> Valores máximos del THDI (%) por semana en el tablero TP1.	59

<i>Figura 35.</i> Valores máximos del THDI (%) por semana en el tablero TP2.	59
<i>Figura 36.</i> Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP2.	60
<i>Figura 37.</i> Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP3.	60
<i>Figura 38.</i> Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP4.	61
<i>Figura 39.</i> Valores máximos del THDI (%) del tablero TP4.	61
<i>Figura 40.</i> THDI (%) promedio semanal del tablero AA1.	62
<i>Figura 41.</i> THDI (%) máximo semanal del tablero AA1.	62
<i>Figura 42.</i> THDI promedio semanal del tablero AA2.	63
<i>Figura 43.</i> THDI (%) máximo semanal del tablero AA2.	63
<i>Figura 44.</i> THDI (%) máximo semanal del tablero RACK.	64
<i>Figura 45.</i> THDI (%) promedio semanal del tablero RACK.	64
<i>Figura 46.</i> THDI (%) promedio semanal del tablero ILU EME.	65
<i>Figura 47.</i> THDI (%) máximo semanal del tablero TBH.	65
<i>Figura 48.</i> THDI (%) promedio semanal tablero TBH.	66
<i>Figura 49.</i> THDI (%) promedio semanal en el tablero TP5.	66
<i>Figura 50.</i> THDI (%) máximo semanal en el tablero TP5.	67
<i>Figura 51.</i> THDI (%) promedio semanal del tablero TRP5.	67
<i>Figura 52.</i> THDI (%) máximo semanal del tablero TRP5.	68
<i>Figura 53.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP1.	70
<i>Figura 54.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP2.	70
<i>Figura 55.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP3.	71
<i>Figura 56.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP4.	71
<i>Figura 57.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero AA1.	72

<i>Figura 58.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero AA2.....	72
<i>Figura 59.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP5.....	73
<i>Figura 60.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TBH.	74
<i>Figura 61.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TRP5	74
<i>Figura 62.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero ILU EME	75
<i>Figura 63.</i> Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero RACK	75
<i>Figura 64.</i> Histogramas de frecuencia Tableros TP1, TP2,TP3,TP4,TP5.	77
<i>Figura 65.</i> Histogramas de frecuencia, tableros TRP5, RACK, ILU EME, AA1, AA2, TBH. ...	78
<i>Figura 66.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	79
<i>Figura 67.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	79
<i>Figura 68.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	79
<i>Figura 69.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	80
<i>Figura 70.</i> Distorsión armónica total por fase, del día especificado.	80
<i>Figura 71.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	80
<i>Figura 72.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	80
<i>Figura 73.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	81
<i>Figura 74.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	81
<i>Figura 75.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	81
<i>Figura 76.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	81
<i>Figura 77.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	82
<i>Figura 78.</i> Distorsión armónica total por fase, del día especificado.	82
<i>Figura 79.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	82
<i>Figura 80.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	82

<i>Figura 81.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	83
<i>Figura 82.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	83
<i>Figura 83.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	83
<i>Figura 84.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	83
<i>Figura 85.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	84
<i>Figura 86.</i> Distorsión armónica total por fase, día especificado.	84
<i>Figura 87.</i> Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.....	84
<i>Figura 88.</i> Desbalance de corriente maximo semanal del tablero rack.	85
<i>Figura 89.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TP5	85
<i>Figura 90.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TRP5.	86
<i>Figura 91.</i> Desbalance maximo semanal del tablero ILU EME.....	86
<i>Figura 92.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TBH.....	86
<i>Figura 93.</i> Desbalance maximo semanal del tablero AA1.	87
<i>Figura 94.</i> Desbalance maximo semanal del tablero AA2.	87
<i>Figura 95.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TP1.	87
<i>Figura 96.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TP2.	88
<i>Figura 97.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TP3.	88
<i>Figura 98.</i> Desbalance maximo semanal del tablero TP4	88

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Dispositivos instalados	92
Apéndice B. Curvas Generales	98
Apéndice C. Curvas por tablero potencia y factor potencia	99
Apéndice D. Tablas Dinámicas.....	100

Resumen

TÍTULO: DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA MONITORIZACIÓN DE LOS TABLEROS DE BAJA TENSIÓN*

AUTORES: NESTOR ESTID TELLEZ SANTAMARIA**

PALABRAS CLAVE: calidad de energía, dispositivo de medición, medición, log.

DESCRIPCIÓN:

La calidad de la energía se ve afectada por medio de múltiples variables eléctricas, estas variables eléctricas son muy importantes en el tiempo presente debido a la dependencia del fluido eléctrico constante en todo lugar. El manejo y administración de estas variables eléctricas se vuelve indispensable para obtener un óptimo funcionamiento de la red que se esté operando o usando. Múltiples fenómenos afectan las redes eléctricas y su diagnóstico se convierte en un aspecto complejo para cualquier usuario de la red, a pesar de las múltiples herramientas que se encuentran en el mercado. Los dispositivos de medición AcuRev se convierten en herramientas muy útiles en el diagnóstico de redes, y la monitorización de las mismas.

El presente trabajo busca determinar diferentes tipos de curvas del Edificio de Ingeniería Eléctrica, mediante el uso de varios dispositivos de monitorización, como lo son los AcuRev y Fluke 1730. Por medio de estos dispositivos se obtienen múltiples variables eléctricas de la red, mediante el uso de log de datos y su compilación. Esta organización de datos permite obtener una base de datos organizada, eficiente y de fácil uso, además de determinar las curvas de potencia, distorsión armónica, factor de potencia y desbalance de corriente.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
Director: German Alfonso Osma Pinto Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo

Abstract

TITLE: DESCRIPTION OF THE ENERGY CONSUMPTION OF THE ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING FROM THE MONITORING OF LOW VOLTAGE BOARDS*

AUTHORS: NESTOR ESTID TELLEZ SANTAMARIA**

KEY WORDS: energy quality, measuring device, measurement, log.

DESCRIPTION:

The quality of energy is affected by multiple electrical variables, these electrical variables are very important in the present time due to the dependence of the constant electric fluid in all places. The management and administration of these electrical variables becomes indispensable to obtain an optimal operation of the network that is being operated or used. Multiple phenomena affect electrical networks and their diagnosis becomes a complex aspect for any user of the network, despite the multiple tools found in the market. AcuRev measuring devices become very useful tools in network diagnostics, and monitoring them.

The present work seeks to determine different types of curves of the Electrical Engineering Building, through the use of several monitoring devices, such as the AcuRev and Fluke 1730. Through these devices multiple electrical variables of the network are obtained, through the use of data log and its compilation. This data organization allows to obtain an organized, efficient and easy-to-use database, in addition to determining power curves, harmonic distortion, power factor and current imbalance.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
Director: German Alfonso Osma Pinto Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo

Introducción

El Edificio de Ingeniería Eléctrica es un piloto de construcción verde que integra diversas aplicaciones URE para reducir su consumo energético; por lo que ha sido objeto de diversos trabajos de investigación de pregrado y posgrado para conocer su comportamiento energético, siendo la cuantificación de su consumo energético uno de los aspectos más relevantes. Sin embargo, dado que no se contaba con medidores de energía en sitio o permanentes, se procedió a estimar su consumo anual a partir de simulaciones energéticas con software especializado, como DesignBuilder, y a la monitorización en uno o dos puntos de la instalación eléctrica por breves lapsos.

Debido a esta carencia de infraestructura e información, el grupo de investigación GISEL gestionó, con recursos de un proyecto COLCIENCIAS y recursos propios, la adquisición de medidores de energía para monitorizar los dos tableros generales de baja tensión del Edificio, que están conformados por todos los tableros de piso y de servicio. Por lo que, es objeto de este trabajo de grado apoyar el análisis de datos obtenidos con este sistema de monitorización. Se entrega una base de datos para la consulta de curvas de comportamiento de variables eléctricas de 13 de febrero de 2018 hasta el 8 de agosto de 2018.

Este trabajo de grado tiene como propósito realizar la descripción del consumo energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de la monitorización de las acometidas de los tableros de piso y de servicio ubicadas en la zona de tableros (sótano). Los tableros de piso son TP1, TP2, TP3, TP4, TP5 y TRegP5; los tableros de servicios son AA1, AA2, Bombas, Ilum. Emergencia y AA. Racks

Para dar cumplimiento a este objetivo general, se deben cumplir los siguientes ítems:

- Crear una base de datos con los registros obtenidos de los medidores de energía, a partir del uso de la herramienta computación al EXCEL.
- Determinar las curvas de potencia activa, reactiva y aparente y el factor de potencia total y por fase de cada piso y servicio.
- Describir la distorsión armónica y el desbalance en corrientes por fase de cada tablero de piso y de servicio.

1. Consideraciones generales

En el Campus Central de la Universidad Industrial de Santander se encuentra el Edificio de Ingeniería Eléctrica (EIE), el cual comprende de aulas y espacios administrativos, con 5 pisos y un sótano. En su proceso de reforzamiento y ampliación vertical se tuvo en cuenta el enfoque uso racional y eficiente de la energía (URE), por lo cual se tomaron y aplicaron tecnologías verdes como: generación fotovoltaica, iluminación natural, ventilación, techo verde para la reducción del consumo de energía.

Por sus características, este edificio se concibe como el primer piloto de edificación verde que tiene la UIS, ya que cuenta con aplicaciones sostenibles que buscan mitigar el impacto ambiental de su operación, a partir de la reducción de los consumos de energía eléctrica y agua potable¹. El EIE se considera una edificación piloto en automatización en torno al URE, adicionalmente

¹ Catedra UIS Libre, enero de 2013 Nro. 154.

insignia en el uso de energías renovables con la instalación de dos sistemas fotovoltaicos conectados a la red baja tensión.

La red de baja tensión del EIE consta de una zona de tableros en el sótano con su respectiva planta de emergencia, tablero general para salidas a los tableros de cada piso y tablero regulado para cargas indispensables.

Debido a que esta edificación es objeto de estudio para diversos tópicos de interés del grupo de investigación GISEL, se ha implementado un sistema de monitorización de variables eléctricas. En este proceso surgió la necesidad de monitorizar el comportamiento de la red en baja tensión, por lo cual se conforma un sistema de medición con seis medidores.

La disposición de estos medidores consiste en 2 medidores AcuRev 2020 en los tableros general y de emergencia de la edificación. Adicionalmente, se utilizó un Fluke1730² para monitorizar la alimentación del tablero general. A partir de estos resultados, en el 2018 se obtuvo una cantidad importante de datos de los múltiples dispositivos conectados. Y por ello surgió la necesidad de clasificar y analizar los datos entregados a partir de la generación de reportes.

Los dispositivos instalados son los relacionados en la Tabla 1:

Tabla 1.

Medidores y tablero.

Medidor	Tablero
Fluke 1730	TABLERO GENERAL
AcuRev 2020 “2”	TABLERO GENERAL
AcuRev 2020 “3”	TABLERO EMERGENCIA
AcuRev 2020 “4”	SFV Parte 1
AcuRev 2020 “5”	SFV Parte 2

² A partir del 13 de febrero de 2018 se instaló el Fluke 1730.

A continuación, se describen la configuración de los dispositivos utilizados en la medición y monitorización.

1.1 Sistema de monitorización del Edificio

En el caso del uso del Fluke 1730, se aprovechó la facilidad de instalación temporal en el área de tableros. Adicionalmente, dispositivos que se usaron para obtener los datos fueron los AcuRev 2020 con la configuración mencionada en la Tabla 1. Se adjunta las imágenes de los dispositivos instalados (ver Figura 1).



a) AcuRev 4 techo verde.



b) AcuRev 5 techo verde.



c) Acuvim zona tableros.



d) Fluke 1730 tablero general.



e) AcuRev 2 y 3 zona tableros.

Figura 1. Equipos de medición ubicados en la edificación.

Adicionalmente, se adjunta la ubicación de los dispositivos instalados en la Figura 2.

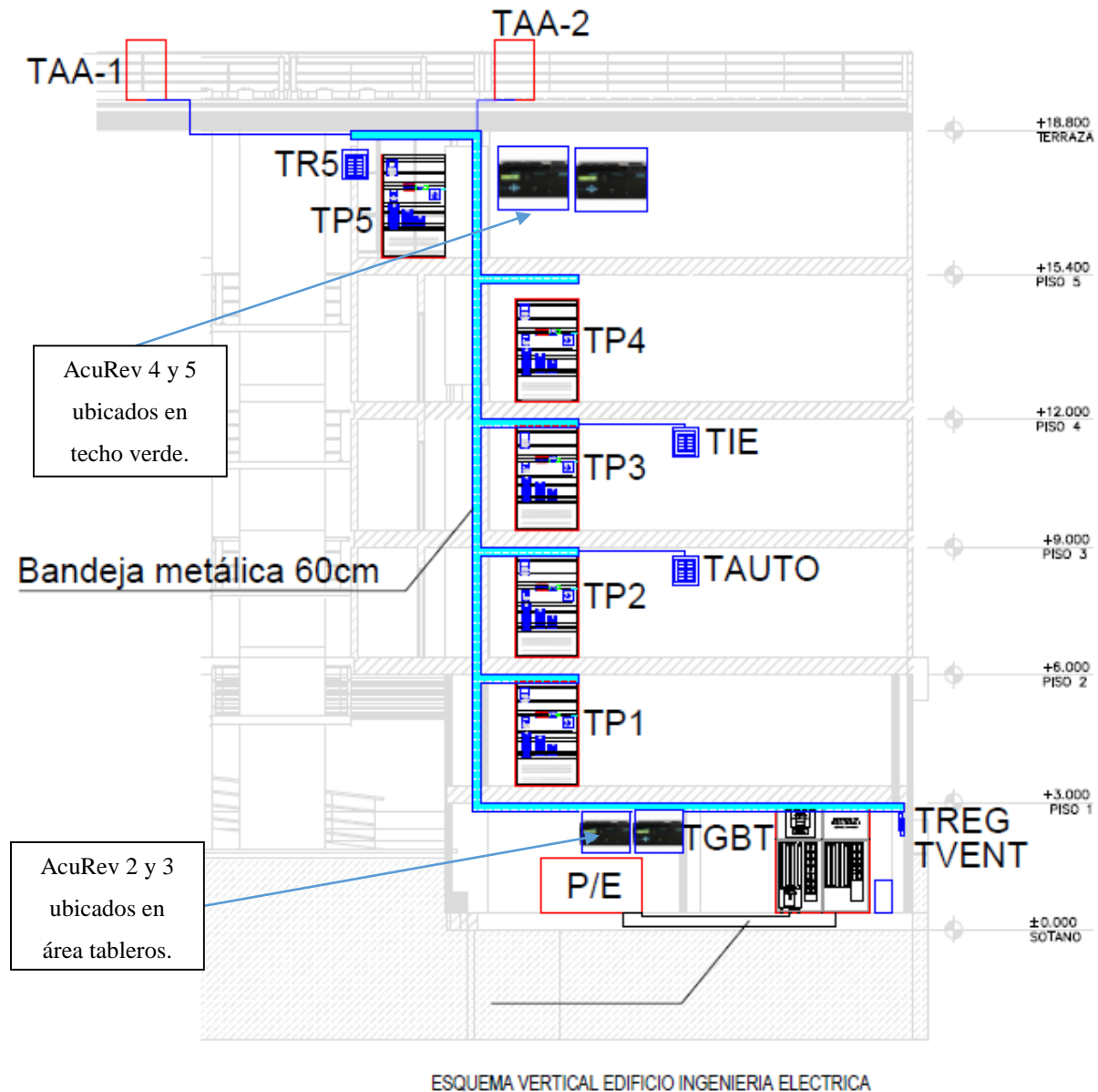


Figura 2. Esquema vertical E3T con ubicación de dos AcuRev en el sótano y dos en la terraza.

1.2 Descripción de la conexión de los dispositivos de los sistemas de medición

A continuación, se describe el tablero general con su plano unifilar para el sistema actual. En el caso del sótano, se encontraron dos tableros diferenciados y separados por gabinetes, los cuales actúan como alimentadores de los tableros de piso y servicios. Estos dos tableros son: el tablero general 1 y el tablero del barraje de emergencia, a partir de este punto se toman las consideraciones de usar un AcuRev por tablero; por lo tanto, el AcuRev 2 monitoriza el TG 1 y el AcuRev 3 conectado al tablero de emergencia. La Figura 3 muestra el diagrama unifilar de la edificación con los puntos de conexión de cada medidor.

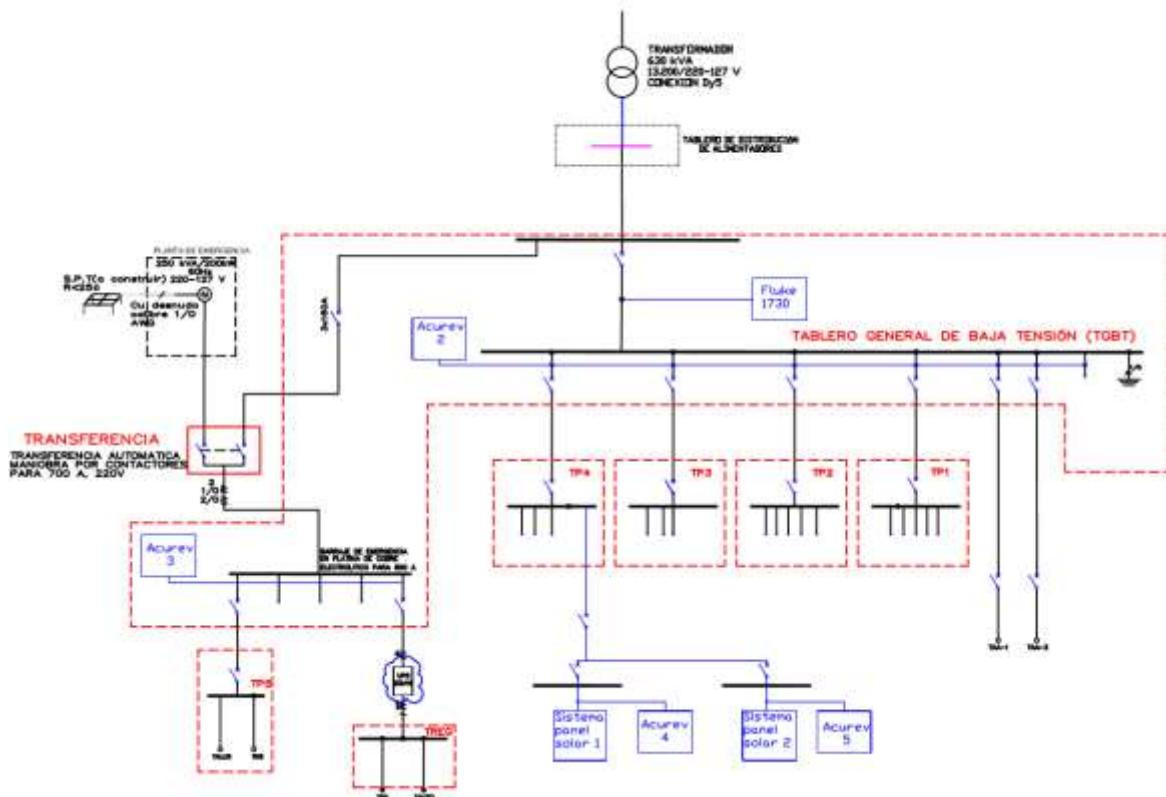


Figura 3. Conexión dispositivos de medición en diagrama unifilar.

Para el caso de los AcuRev la instalación del dispositivo se realizó con las siguiente consideración: el suministro de energía eléctrica es monofásico y se realizó desde el tablero regulado, instalando un tomacorriente dedicado para los dos dispositivos. Se tiene conexión monofásica para alimentación, conexión para comunicación vía ethernet RS485, la cual es el medio de extracción de datos como denotan las figuras 4 y 5, junto con el módulo de salida externo de CT. En las salidas se instalaron transformadores de corriente (CT) con tipo núcleo solido con módulo EM.

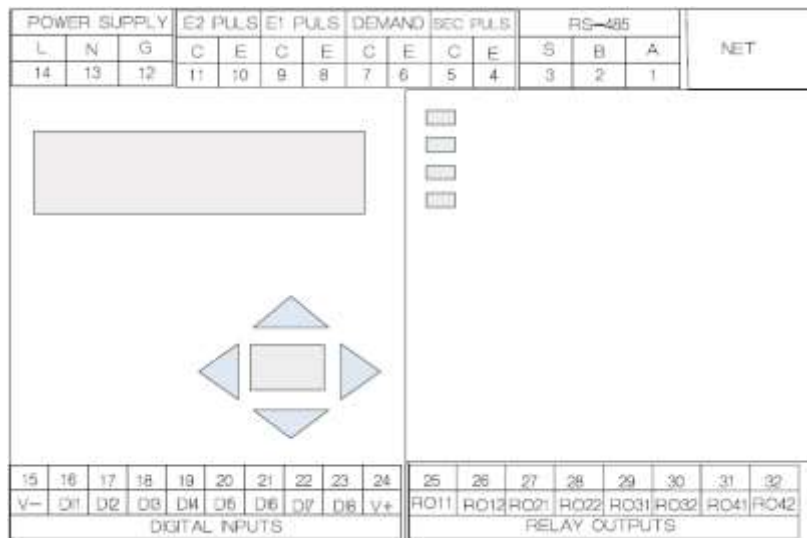


Figura 4. AcuRev 2020 alimentación y conexión RS-485

Tomada de AcuRev-2000-Multi-Phase-Tenants-Meter-User-Manual-2010E2210.

EM1										EM2									
VOLTAGE INPUTS																			
VN		V3		V2		V1													
33		34		35		36													
EM1 CURRENT INPUTS										EM2 CURRENT INPUTS									
-	38	40	42	44	46	48	50	52	54	-	56	58	60	62	64	66	68	70	72
	11	12	13	14	15	16	17	18	19		110	111	112	113	114	115	116	117	118
*	37	39	41	43	45	47	49	51	53	*	55	57	59	61	63	65	67	69	71

Figura 5. Modulo terminales externos

Tomada de AcuRev-2000-Multi-Phase-Tenants-Meter-User-Manual-2010E2210.

1.3 Estructura de conexión

Para el caso de los medidores situados en el sótano (AcuRev 2 y AcuRev 3), se instalaron de tal forma que se identifican por los transformadores de corriente con etiquetas. A continuación, las tablas 2 y 3 enuncian las etiquetas usadas para identificar los circuitos atendidos. Para el caso actual se tienen tableros de piso atendidos y su correspondiente AcuRev, CT y descripción. A partir de esta información se inicia el proceso de la recepción de información.

Tabla 2.

Tablero con su respectiva acometida atendida, CT y AcuRev.

Tableros	Descripción	CT	AcuRev
Piso 1	Tablero de piso	3, 6, 9	AcuRev 2
Piso 2	Tablero de piso	10, 13, 16	AcuRev 2
Piso 3	Tablero de piso	11, 14, 17	AcuRev 2

Tableros	Descripción	CT	AcuRev
Piso 4	Tablero de piso	12, 15, 18	AcuRev 2
Piso 5	Tablero de piso	1, 4, 7	AcuRev 3
Treg P5	Tablero regulado	2, 5, 8	AcuRev 3
AA1	Aire acondicionado	1, 4, 7	AcuRev 2
AA2	Aire acondicionado	2, 5, 8	AcuRev 2
Bombas – TBH	Tablero bombas	11, 14, 17	AcuRev 3
T ILU EME	Tablero iluminación emergencia	10, 13, 16	AcuRev 3
RACK	Tablero rack	12, 15, 18	AcuRev 3

Tabla 3.

AcuRev adicionales.

Tableros	Descripción	AcuRev
Techo Verde 1	Sistema fotovoltaico parte 1 (1-18)	AcuRev 4
Techo Verde 2	Sistema fotovoltaico parte 2 (19-36)	AcuRev 5

1.4 Extracción de información

Para la recopilación de información se realiza la extracción de los registros de datos de los medidores (logs³). Cada medidor AcuRev contiene 3 logs, en los cuales se alojan los registros, seguidamente se describe cuantos registros contiene cada log, en la Tabla 4.

³ Hace referencia al registro de datos emitido por un medidor.

Tabla 4.

Registros por AcuRev y log.

AcuRev	Log	Registros
AcuRev 2	Log 1	10720
	Log 2	8040
	Log 3	7980
AcuRev 3	Log 1	10720
	Log 2	8190
	Log 3	10560

Los registros hacen referencia a cada medición tomada en una hora determinada. El primer registro es el tiempo en el cual se realizó la medición. Los demás registros corresponden a los parámetros de las señales de tensión, corriente y potencia que se quieren almacenar (valores eficaces, distorsiones armónicas, potencias activa, reactiva, aparente, etc.). En la Figura 6 se muestran los campos “Time”, “valor eficaz de la corriente” y “potencias activa, reactiva y aparente”. El número de registro presentado como “Record Num”, funciona como guía, para conocer el número de registros almacenados, y la memoria disponible. Por consiguiente, para definir un paso de tiempo entre registro se debe tener en cuenta la cantidad total de registros que se podrán almacenar.

	A	B	C	D	E	F
1	Record Num	Time	R2: I A (CH101)	R2: Watt A (CH101)	R2: VAR A (CH101)	R2: VA A (CH101)
2	1	13/02/2018 7:10	0.531	0.025	-0.058	0.068
919	918	19/02/2018 16:00	1.39	0.134	-0.093	0.178

Figura 6. Ejemplo de log almacenado.

En el caso de los medidores usados se tiene un paso de tiempo de 10 minutos entre registro, de esta manera se obtienen aproximadamente 55 días de grabación en el caso del AcuRev 2, sin que

se sobre escriban valores. A partir de este ejercicio, se logra guardar datos para su extracción cada 55 días, pero también se descubre que su descarga por medio del módulo RS485, se tomaba un aproximado de 1 registro por cada dos segundos, debido a esto la descarga de 1 log de 7800 registros se tomaría un aproximado de 4,3 horas para el caso de un solo log y siendo 3 logs por cada AcuRev y dos AcuRev, esto plantea una dificultad. Por lo cual, se tomó la lectura de datos cada 3 días, teniendo en esos 3 días un estimado de 14,4 minutos en la lectura de cada log, siendo 6 los logs por leer para extraer del AcuRev.

Esta lectura de logs se realizó durante el año 2018, desde la instalación de los paneles fotovoltaicos y es una información en espera de ser procesada para su análisis. El AcuRev genera archivos tipo txt, los cuales pueden leerse a partir del programa Microsoft Excel para su organización y tratamiento.

2. Creación de la base de datos

Considerando los periodos de tiempo donde se tienen actividades en el edificio, se definieron dos tipos de semanas, semana con **normalidad** y semana de **vacaciones**. A continuación, la Tabla 5 presenta las fechas de inicio de cada semana. Para este estudio se tomaron 4 semanas de cada tipo, para el caso normalidad se toman las semanas 14, 15, 16 y 17 y para el caso vacaciones las semanas 25, 26, 30 y 31.

Tabla 5.

Codificación de fecha de cada semana.

Fecha	Semana
13/02/2018	7
18/02/2018	8
25/02/2018	9
4/03/2018	10
11/03/2018	11
18/03/2018	12
25/03/2018	13
1/04/2018	14
8/04/2018	15
15/04/2018	16
22/04/2018	17
29/04/2018	18
6/05/2018	19
13/05/2018	20

Fecha	Semana
20/05/2018	21
13/06/2018	24
17/06/2018	25
24/06/2018	26
4/07/2018	27
8/07/2018	28
15/07/2018	29
22/07/2018	30
29/07/2018	31
8/08/2018	32
4/09/2018	36
9/09/2018	37
16/09/2018	38
23/09/2018	39
9/10/2018	41
19/10/2018	42
25/10/2018	43
28/10/2018	44
4/11/2018	45
11/11/2018	46
18/11/2018	47
25/11/2018	48
2/12/2018	49

En el desarrollo de los objetivos de este trabajo de grado se obtuvo una importante cantidad de datos, de variables eléctricas obtenidas por medio de los dos tipos de dispositivos usados, los cuales son en realidad un dispositivo Fluke y cuatro dispositivos AcuRev 2020. Esta información se organizó para acceder a ella de una manera simple y eficaz. Adicionalmente para entender de una

manera simplificada, la arquitectura de adquisición de datos en función del diagrama unifilar y sus tableros.

Cada dispositivo tiene un tratamiento de la información generada, por lo que se pasó de obtener una tabla de datos planos en archivo tipo txt con todos los datos, a una tabla por tablero, identificada, simplificada y compilada. La Tabla 6 muestra el proceso desarrollado para el manejo de la información.

Tabla 6.

Tratamiento de la información obtenida de los medidores.

Dispositivo	Intervalo de tiempo	Tipo de archivo emitido por el dispositivo	Tratamiento de la información	Recurso obtenido
Fluke 1730	13 Febrero 2018 hasta 8 Agosto de 2018	Archivo tipo txt, información organizada por columnas con separadores, un archivo único.	Organización mediante apertura en Microsoft Excel para más fácil lectura y manejo. Se convierte en tabla dinámica para una óptima manipulación. Arroja un único archivo.	Tabla dinámica con la data que especifica el medidor durante el periodo de tiempo que tomo lectura, se puede consultar por mes, semana o días específicos para facilitar su manejo.
AcuRev 2020 "2" y "3"	14 de Enero de 2018 hasta 4 de Diciembre de 2018	Archivo tipo txt, información organizada por columnas con separadores.	Se unen o entrelazan los periodos de tiempo de cada log con el de la anterior lectura, pues este graba	Tablas dinámicas con la información por tablero, múltiples tableros por ello se organiza

Dispositivo	Intervalo de tiempo	Tipo de archivo emitido por el dispositivo	Tratamiento de la información	Recurso obtenido
		Tres archivos de logs, durante un tiempo específico.	aproximadamente una semana, se compila en un único archivo Excel.	por archivo para su optima manipulación.

A partir de la información obtenida de los medidores, en la Tabla 7 se presenta un diagrama que relaciona cada tablero y el archivo relacionado a él. Esta información se adjuntan en el Anexo D.



Figura 7. Estructura del manejo de la información según tablero.

Cada archivo contiene dos hojas, la primera hoja con la información base como tabla genérica con toda la información recopilada. Las siguientes hojas corresponden a las tablas dinámicas que permiten seleccionar el parámetro que desea graficar, el día o semana para así obtener la gráfica del parámetro seleccionado, el tablero que se requiera en el día específico que se necesite.

A continuación, en la Figura 7 se relaciona una imagen de ejemplo de cada tabla dinámica (en este caso el parámetro seleccionado es la potencia activa), donde se observa que se puede

seleccionar el día y la semana en la cual se desea graficar un parámetro de las variables eléctricas del sistema.

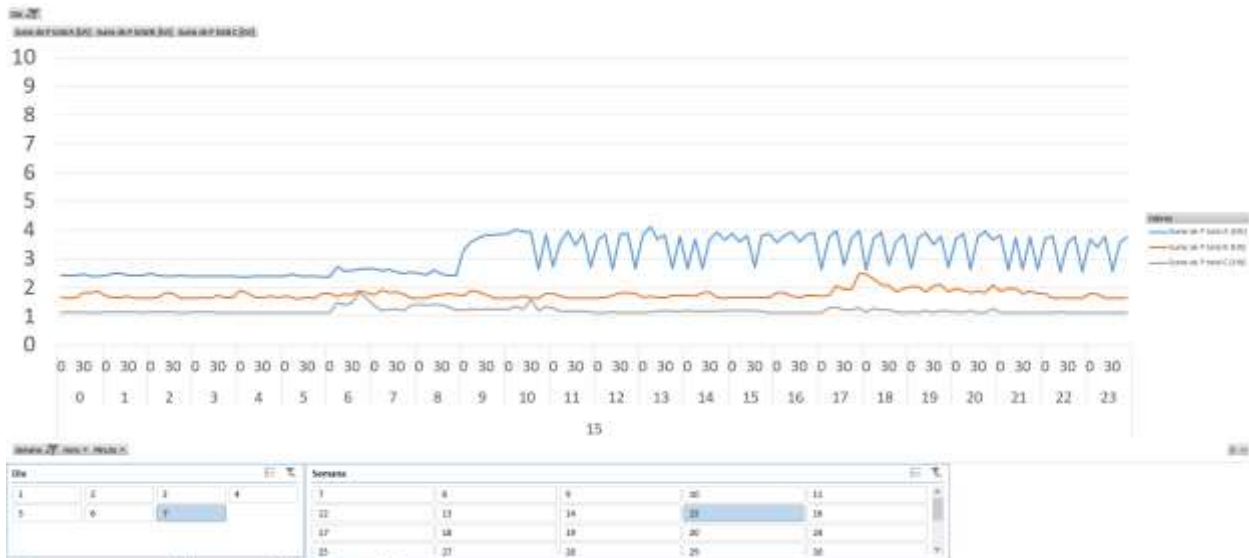


Figura 8. Ejemplo particular tabla dinámica, día 7 semana 15 de 2018.

En la Figura 8 se muestran las hojas electrónicas con la información que contiene cada archivo, de tal manera que se puede seleccionar un gráfico por cada parámetro de la variable requerida, o extraer los datos planos de dicho tablero u archivo seleccionado.

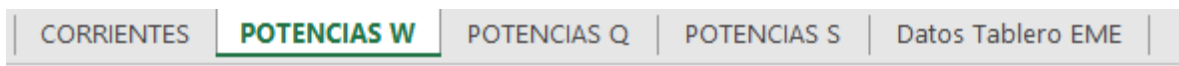


Figura 9. Hojas de cada archivo.

En la Tabla 8 se muestran los parámetros de las variables que se relacionan en los archivos adjuntos, el tablero y el medidor correspondiente.

Tabla 7.

Relación de parámetros de las variables medidas y los respectivos medidores.

Medidor	Variables medidas	Tableros atendidos
Fluke 1730	Valores eficaces de: la tensión de fase y la corriente de línea; la distorsión armónica total de la tensión y la corriente; la frecuencia, la potencia activa por fase y total, la potencia reactiva por fase y total, la potencia aparente por fase y total, el factor de potencia por fase y total.	Tablero general
AcuRev 2020 (2)	Valor eficaz de la corriente, la potencia activa por fase, la potencia reactiva por fase, la potencia aparente por fase, el factor de potencia por fase, la distorsión armónica total de la corriente.	Tablero general, Tp1, Tp2, Tp3, tp4, AA1, AA2.
AcuRev 2020 (3)	Valor eficaz de la corriente, la potencia activa por fase, la potencia reactiva por fase, la potencia aparente por fase, el factor de potencia por fase, la distorsión armónica total de la corriente.	Tablero emerg, Tp5, Tregp5, Tilueme, RACK, TBH.
AcuRev 2020 (4)	Valor eficaz de la corriente, la potencia activa por fase, la potencia reactiva por fase, la potencia aparente por fase, el factor de potencia por fase, la distorsión armónica total de la corriente.	Tablero sistema FV parte 1
AcuRev 2020 (5)	Valor eficaz de la corriente, la potencia activa por fase, la potencia reactiva por fase, la potencia aparente por fase, el factor de potencia por fase, la distorsión armónica total de la corriente.	Tablero sistema FV parte 2.

3. Análisis de curvas de potencias y factor de potencia obtenidas

La elaboración de curvas de potencia y factor de potencia busca establecer los comportamientos típicos y atípicos que puedan ser identificables, mediante la observación de las gráficas, adicionalmente teniendo en cuenta el comportamiento de funcionamiento de la edificación y su cronograma de labores como edificación universitaria.

El Anexo B relaciona las curvas Fluke y curvas del tablero emergencia (EME) planta, con la siguiente estructura

- Curvas Fluke:

Comprenden las curvas elaboradas a partir del alimentador general del edificio, los parámetros obtenidos son: potencias activa, reactiva y aparente, valor eficaz de tensión de fase y corriente de línea y el factor de potencia.

- Curvas tablero EME planta:

Comprenden las curvas correspondientes a la monitorización del tablero EME, el cual es suplido por la planta eléctrica en caso de ausencia del fluido eléctrico. Para este tablero se miden los parámetros: potencias activa, reactiva y aparente y el valor eficaz de la corriente.

- Curvas Ilustrativas tablero rack:

Comprenden las curvas que se extraen para todos los tableros de piso y servicio de los parámetros: potencias activa, reactiva y aparente, valor eficaz de la corriente, factor de potencia, desbalance de corriente y distorsión armónica total de la corriente. Estas figuras se ilustran como

ejemplo en el contenido de este documento. Para los otros tableros esta información se encuentra en el anexo D.

Cabe resaltar que para cada conjunto de curvas se tienen en cuenta dos escenarios (vacaciones y normalidad); para los cuales, según el calendario académico, se establecieron las semanas número 14, 15, 16, 17 para normalidad académica y 25, 26, 30, 31 para vacaciones.

Adicionalmente, se incluyen los archivos respectivos de todos los tableros, con los cuales se tiene la posibilidad de generar gráficos del parámetro requerido del tablero que se necesite.

3.1 Regulación y desbalance de tensión en el tablero general

En la Tabla 9 se observa un panorama general de los valores eficaces de las tensiones de fase para el tablero general, considerando el escenario de normalidad académica, por ello se muestra la información de las semanas 14, 15 y 16.

TENSION DE FASE		Fase A				Fase B				Fase C							
Semana	Día	Min	Prom	Max	Desb med	Min	Prom	Max	Desb med	Min	Prom	Max	Desb med	max	Min	Promedio	Desb calc
14	lunes	130.04	132.20	134.63	4.05	130.47	132.58	135.15	3.83	129.71	131.71	134.30	3.82	135.15	129.71	132.16	2.26
	martes	126.55	130.63	133.01	2.78	126.84	130.97	133.48	2.64	126.14	130.28	132.92	2.63	133.48	126.14	130.63	3.43
	miércoles	127.03	130.20	133.18	2.43	127.27	130.48	133.30	2.31	126.64	129.73	132.55	2.26	133.30	126.64	130.14	2.69
	jueves	126.60	130.34	132.70	2.41	126.77	130.54	132.88	2.28	126.15	129.82	132.16	2.24	132.88	126.15	130.23	3.14
	viernes	125.29	130.21	132.83	2.38	125.60	130.46	133.05	2.25	124.91	129.72	132.25	2.22	133.05	124.91	130.13	4.01
	sábado	126.85	130.32	133.24	2.65	127.24	130.71	133.47	2.52	126.52	129.94	132.67	2.49	133.47	126.52	130.33	2.92
	domingo	126.57	130.79	132.67	2.84	127.02	131.26	133.59	2.70	126.56	130.55	132.79	2.70	133.59	126.56	130.87	3.45
15	lunes	128.54	131.77	134.17	4.41	128.89	132.21	134.79	4.19	127.83	131.39	134.15	4.25	134.79	127.83	131.79	3.01
	martes	125.89	129.64	133.44	3.59	126.16	129.97	134.00	3.43	125.56	129.21	133.30	3.39	134.00	125.56	129.61	3.39
	miércoles	127.14	130.56	133.83	3.71	127.44	130.72	134.17	3.42	126.81	129.99	133.35	3.41	134.17	126.81	130.36	2.92
	jueves	126.72	129.80	132.51	3.21	127.05	130.13	132.89	3.05	126.36	129.40	132.11	2.97	132.89	126.36	129.78	2.63
	viernes	126.98	129.74	132.98	3.40	127.39	130.10	132.74	3.12	126.72	129.34	131.87	3.16	132.74	126.72	129.72	2.33
	sábado	125.84	129.59	133.15	3.09	126.03	129.90	133.49	2.89	125.40	129.19	132.81	2.94	133.49	125.40	129.56	3.21
	domingo	128.19	130.49	132.64	3.17	128.76	130.92	133.02	3.00	127.81	130.15	132.26	3.00	133.02	127.81	130.52	2.08
16	lunes	129.23	131.58	133.68	4.33	129.64	132.03	134.25	4.10	128.80	131.15	133.44	4.12	134.25	128.80	131.59	2.12
	martes	114.57	126.93	133.90	4.00	114.75	127.24	134.32	3.91	114.58	126.65	133.43	3.80	134.32	114.57	126.94	3.75
	miércoles	125.90	129.89	134.23	3.52	126.09	130.20	134.52	3.23	125.48	129.47	133.71	3.17	134.52	125.48	129.85	3.39
	jueves	125.20	130.01	133.86	3.37	125.33	130.34	134.20	3.15	124.81	129.62	133.40	3.02	134.20	124.81	129.99	3.99
	viernes	126.61	130.21	133.44	3.41	126.83	130.47	133.71	3.13	126.21	129.76	132.93	3.13	133.71	126.21	130.15	3.03
	sábado	0.03	121.23	132.93	3.39	0.02	122.49	133.29	3.15	0.00	121.81	132.49	3.12	133.29	0.00	122.17	100.00
	domingo	102.64	130.44	133.51	3.66	102.92	130.80	133.97	3.53	102.33	130.07	133.21	3.57	133.97	102.33	130.44	2.15

Figura 10. Tensiones de fase para tablero general semanas normalidad (V).

Estos escenarios permiten visualizar la sensibilidad del sistema a grandes cargas, y percibir fenómenos tras la caída de la tensión en un tiempo específico o la repercusión en otras variables eléctricas que se puede observar. En el caso específico de la semana 16, el sábado se presentó un fallo en la continuidad del suministro de energía eléctrica, que se manifiesta en el mínimo valor eficaz de las tensiones en las tres fases.

Para el caso del desbalance, se observa que el lunes se presenta el mayor desbalance en las tres fases de las tres semanas, adicionalmente va ligado con los valores más altos del valor eficaz de la tensión comparándolos con otros días de la semana. Adicionalmente se observa que el valor eficaz de la tensión se encuentra por encima de los valores normales en una red de suministro 120/208 V, normalmente en 125 V en la mayoría de días de la semana presentados.

Cabe aclarar para el caso de la Tabla 9 el “Desb med” hace referencia al desbalance medio dado por el dispositivo. El valor “Desb calc” hace referencia al cálculo del desbalance tomando como entradas los datos de los valores eficaces de la tensión (máximo y mínimo) de las tres fases y ponderándola con el valor eficaz promedio de los tres promedios de las tres fases del día tal como lo muestra la Ecuación (1) según el std IEEE 1159.

$$Desb\ calc = \frac{\max((V_{max}-V_{prom});(V_{min}-V_{prom}))}{V_{prom}} * 100 \quad (1)$$

En los datos de la Tabla 10, para las semanas 25, 30 y 31 del periodo de vacaciones, se observa un comportamiento similar al encontrado en la Tabla 9, se observa una ausencia en el suministro de energía eléctrica en la semana 31, el día sábado, registrado por el medidor. Adicionalmente, se tiene una caída de tensión el día jueves de la semana 31, en la cual el valor eficaz de la tensión disminuyó en las tres fases a valores entre 60-61 V.

TENSION DE FASE		Fase A				Fase B				Fase C							
Semana	Día	Min	Prom	Max	Desb med	Min	Prom	Max	Desb med	Min	Prom	Max	Desb med	max	Min	Promedio	Desb calc
25	lunes	129.84	132.05	134.04	4.05	130.38	132.59	134.75	3.83	129.75	131.85	134.04	3.82	134.75	129.75	132.16	1.96
	martes	126.79	130.61	133.73	2.78	127.01	131.01	134.33	2.64	126.48	130.34	133.71	2.63	134.33	126.48	130.65	3.19
	miércoles	126.47	130.20	133.23	2.43	126.85	130.66	133.78	2.31	126.30	130.05	133.04	2.26	133.78	126.30	130.31	3.08
	jueves	127.71	131.24	134.48	2.41	128.09	131.70	135.15	2.28	127.49	131.08	134.55	2.24	135.15	127.49	131.34	2.93
	viernes	125.82	129.69	133.27	2.38	126.16	130.15	133.97	2.25	125.74	129.51	133.35	2.22	133.97	125.74	129.78	3.23
	sábado	126.40	129.44	132.70	2.65	126.79	129.94	133.96	2.52	126.32	129.32	132.78	2.49	133.96	126.32	129.56	2.93
	domingo	127.25	130.09	133.73	2.84	127.55	130.62	134.41	2.70	127.11	129.99	133.84	2.70	134.41	127.11	130.23	3.21
30	lunes	129.70	131.67	133.39	4.41	130.16	132.30	134.08	4.19	129.22	131.44	133.43	4.25	134.08	129.22	131.77	1.94
	martes	126.57	130.21	133.15	3.59	126.84	130.59	133.68	3.43	126.27	129.87	132.84	3.39	133.68	126.27	130.23	3.04
	miércoles	125.04	129.60	132.74	3.71	125.39	129.97	133.12	3.42	124.69	129.28	132.38	3.41	133.12	124.69	129.62	3.81
	jueves	60.98	129.00	133.24	3.21	61.20	129.40	133.70	3.05	60.88	128.71	132.74	2.97	133.70	60.88	129.04	52.82
	viernes	126.41	129.51	132.14	3.40	126.89	129.99	132.59	3.12	126.42	129.41	132.03	3.16	132.59	126.41	129.64	2.49
	sábado	126.87	129.85	132.17	3.09	127.22	130.21	132.49	2.89	126.85	129.70	131.82	2.94	132.49	126.85	129.92	2.37
	domingo	127.91	130.61	132.60	3.17	128.17	130.94	132.93	3.00	127.77	130.40	132.18	3.00	132.93	127.77	130.65	2.21
31	lunes	129.88	131.41	132.85	4.33	130.44	131.97	133.45	4.10	129.77	131.38	132.96	4.12	133.45	129.77	131.99	1.42
	martes	125.94	129.54	131.74	4.00	126.32	130.02	132.47	3.91	125.81	129.50	131.95	3.80	132.47	125.81	129.69	2.99
	miércoles	130.41	131.99	133.49	3.52	130.75	132.29	133.85	3.23	130.05	131.62	133.22	3.17	133.85	130.05	131.96	1.45
	jueves	126.22	130.48	133.11	3.37	126.45	130.72	133.33	3.15	125.86	130.12	132.73	3.02	133.33	125.86	130.44	3.51
	viernes	126.86	130.43	132.90	3.41	127.22	130.77	133.31	3.13	126.59	130.14	132.50	3.13	133.31	126.59	130.45	2.96
	sábado	0.02	128.58	133.72	3.39	0.00	128.94	134.17	3.15	0.02	128.32	133.63	3.12	134.17	0.00	128.61	100.00
	domingo	97.41	130.47	132.98	3.66	97.96	131.34	133.77	3.53	97.31	130.57	133.11	3.57	133.77	97.31	130.79	25.60

Figura 11. Tensiones de fase tablero general semanas vacaciones (V).

Para el caso de factor de potencia se obtienen los “delta fp”, que se refieren a la diferencia en un instante dado entre los factores de potencia mayor y menor de las tres fases, tomando el máximo de cada día de cada semana, como se muestra en la Ecuación (2). En el cálculo del delta del fp se toma el valor máximo de factor de potencia de las tres fases en un instante de lectura dado, se le resta el mínimo del mismo instante y se toman los valores máximos diarios de estos cálculos realizados para obtener así la Tabla 11.

$$\Delta fp = \text{valormax}[\max(fpR, fpS, fpT) - \min(fpR, fpS, fpT)] \quad (2)$$

En la Tabla 11 se observa la diferencia en el factor de potencia mediante el cálculo del delta fp. En el período de vacaciones el desbalance del factor de potencia es menor que el período de normalidad el desbalance del factor de potencia es mayor.

Delta fp	SEMANA					
	14	15	16	25	30	31
Domingo	1.918	1.810	1.989	1.964	1.850	1.890
Lunes	1.953	1.980	1.969	1.900	1.934	1.768
Martes	1.983	1.965	1.974	1.903	1.680	1.902
Miercoles	1.981	1.968	1.970	1.962	1.979	1.900
Jueves	1.982	1.983	1.970	1.972	1.956	1.901
Viernes	1.983	1.964	1.961	1.945	1.930	1.984
Sabado	1.969	1.941	1.928	1.971	1.853	1.707

Figura 12. Variación máxima del factor de potencia tablero general en %.

En la Tabla 12 se recopila la energía eléctrica por fase según tablero para las fases R, S, T y la energía eléctrica total. Tp4 consumido hace referencia a la energía eléctrica consumida por el piso 4, Tfv a la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico ubicado en la terraza. En este tablero se observa que en algunos escenarios la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico supera la energía eléctrica consumida por el piso 4, adicionalmente, que el desequilibrio en las cargas del piso 4 hace esto notorio por lo cual se refleja la potencia eléctrica generada por los paneles FV, no solo en el piso 4.

Semana	T general [kWh]				Tene [kWh]				Tfv [kWh]				Tp4 consumo [kWh]			
	Pv	Ps	PT	PT	Pv	Ps	PT	PT	Pv	Ps	PT	PT	Pv	Ps	PT	PT
14	1 686 756.3	1 352 547.0	1 268 522.9	4 507 776.6	4 117.0	2 311.1	1 957.5	8 280.5	132.0	138.1	139.3	421.5	277.3	181.8	186.4	847.4
15	1 460 242.2	1 385 423.2	1 083 358.0	3 917 023.7	4 036.1	2 569.3	2 096.3	8 895.7	394.7	383.8	416.7	1 250.7	229.4	199.6	145.6	574.4
16	1 451 129.5	1 267 740.4	1 047 001.1	3 765 873.2	3 838.9	2 804.5	2 247.1	8 890.7	557.2	521.3	566.8	1 713.6	362.0	174.1	184.0	631.1
17	71 078.1	85 021.1	62 090.0	218 189.1	4 532.1	2 802.3	2 278.9	9 814.4	525.8	508.6	532.4	1 670.8	338.7	328.0	348.3	1 025.5
25	336 239.4	198 341.0	- 81 946.8	255 553.5	4 209.8	2 429.7	1 965.1	8 608.8	516.0	501.6	543.1	1 847.5	- 3.1	72.7	40.0	309.6
26	46 136.3	33 982.9	- 17 487.9	64 331.4	999.1	536.8	434.8	1 546.6	96.8	94.5	102.9	310.1	- 0.9	18.4	8.4	25.9
30	39 883.3	77 013.0	- 70 766.6	45 829.6	4 150.7	2 530.8	1 922.6	8 605.5	469.2	456.6	496.2	1 499.5	29.2	134.8	54.8	218.7
31	41 751.1	99 664.9	- 71 347.4	70 107.6	3 257.8	2 079.3	1 605.1	6 942.3	409.1	397.1	412.1	1 307.0	10.4	99.4	41.4	152.2

Figura 13. Energía eléctrica por semana para los diferentes tableros.

El Anexo C presenta las curvas por tablero para cada uno de los once tableros contemplados dentro de la edificación, como tableros de piso y servicio. Se ilustran de tres maneras, la primera es un ejemplo de curva diaria del día tres de la semana catorce, los siguientes casos son curvas de valores promedio por semana y la última comprende valores máximos y mínimos de los parámetros analizados, estos por semana.

3.2 Energía eléctrica anual del edificio

A partir de la monitorización efectuada se dimensiona la energía eléctrica consumida por la edificación durante el año 2018, además de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

3.2.1 Estimación de la demanda de energía eléctrica de la edificación. La edificación presenta un consumo reducido de energía eléctrica, debido al uso eficiente de esta energía. Las cargas eléctricas de mayor consumo son los aires acondicionados. En la Tabla 13 se presenta la energía eléctrica medida durante el año 2018 en cada tablero. Se realiza un proceso de extrapolación para obtener la estimación de todo el año 2018. Adicionalmente se presenta la generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico, el cual también se extrapola presentando todos los resultados total año 2018. Se observa que en el tablero RACK se midió el 50%. La medición de energía eléctrica en este tablero fue instalada en el año 2017. Se tiene una demanda neta de 65526 kWh de la edificación durante el año 2018.

Tabla 8.

Energía eléctrica (kWh) estimada a partir de mediciones, durante el año 2018.

TABLERO	Energía eléctrica fase A	Energía eléctrica fase B	Energía eléctrica fase C	Energía eléctrica total	Participación
AA1	349	324	225	899	1%
AA2	429	1 021	1 304	2 754	3%
ILU EME	493	1 620	1 434	3 547	4%
RACK	24 004	13 203	2 734	39 941	50%

TABLERO	Energía eléctrica fase A	Energía eléctrica fase B	Energía eléctrica fase C	Energía eléctrica total	Participación
TBH	178	177	170	526	1%
TP1	5 409	3 577	3 048	12 034	15%
TP2	879	1 138	1 077	3 094	4%
TP3	662	1 123	717	2 502	3%
TP4	2 772	1 554	275	4 602	6%
TP5	733	635	6 664	8 033	10%
TRP5	48	665	693	1 406	2%
Subtotal	35 957	25 038	18 341	79 336	100%
SFV	6 364	4 332	3 115	13 811	17%
Neto	29 594	20 707	15 225	65 526	

Para realizar la extrapolación se consideraron los días monitorizados y los días sin monitorizar del año 2018⁴, en función de esas variables se extrapoló mediante una regla de tres el dato estimado representativo para los 365 días al año.

Destaca la participación la energía eléctrica del sistema fotovoltaico en un 17% del cubrimiento de la demanda de energía eléctrica de la edificación, que se muestra en las figuras 9 y 10.

⁴ Días sin monitorizar 116.

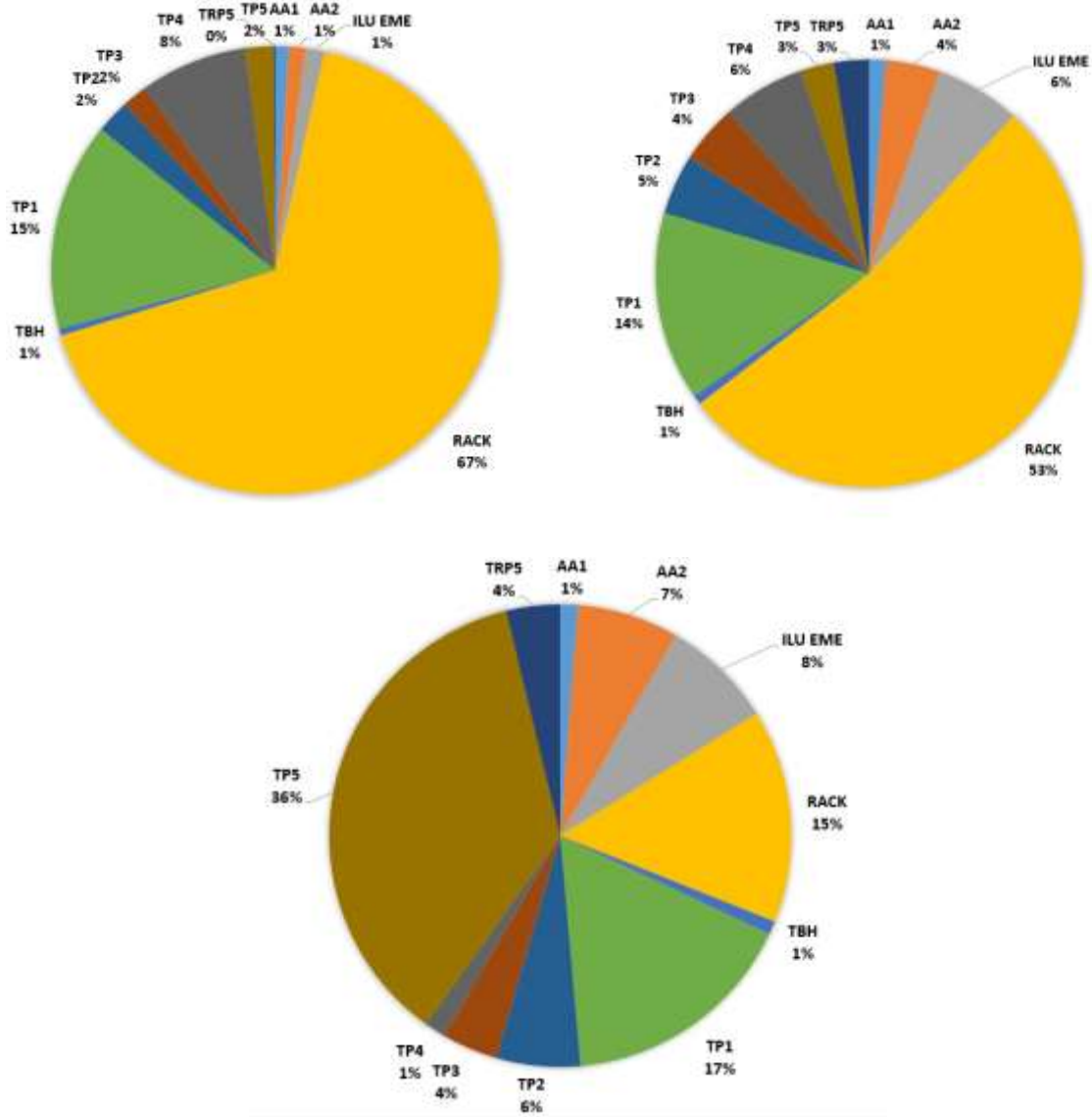


Figura 14. Participación de la demanda de energía eléctrica por tablero y por fase.

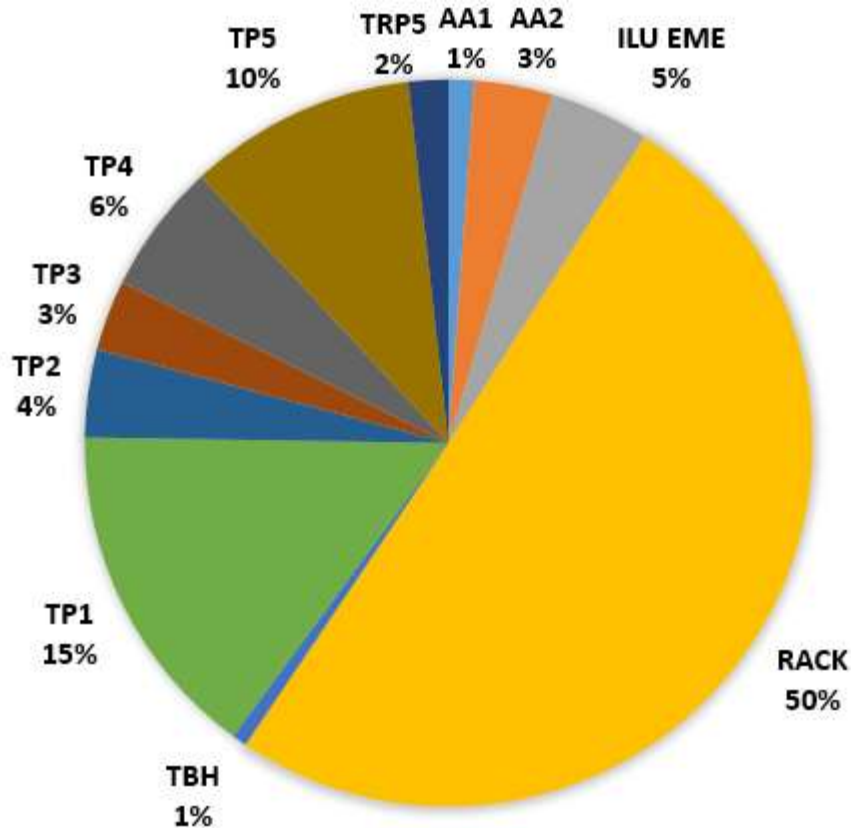


Figura 15. Participación de demanda de energía eléctrica total por tablero.

3.2.2 Generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico. En la edificación se encuentra instalado un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaico, constituido por 43 paneles de diversas potencias, los cuales inyectan esta energía al tablero TP4.

En la Figura 11 se muestra la curva de la energía eléctrica suministrada semanalmente por el SFV comparada con el promedio semanal de la demanda (188 kWh). El sistema fotovoltaico cubre aproximadamente un 13% del consumo de la energía eléctrica de la edificación, la inyección se efectúa en el tablero TP4.

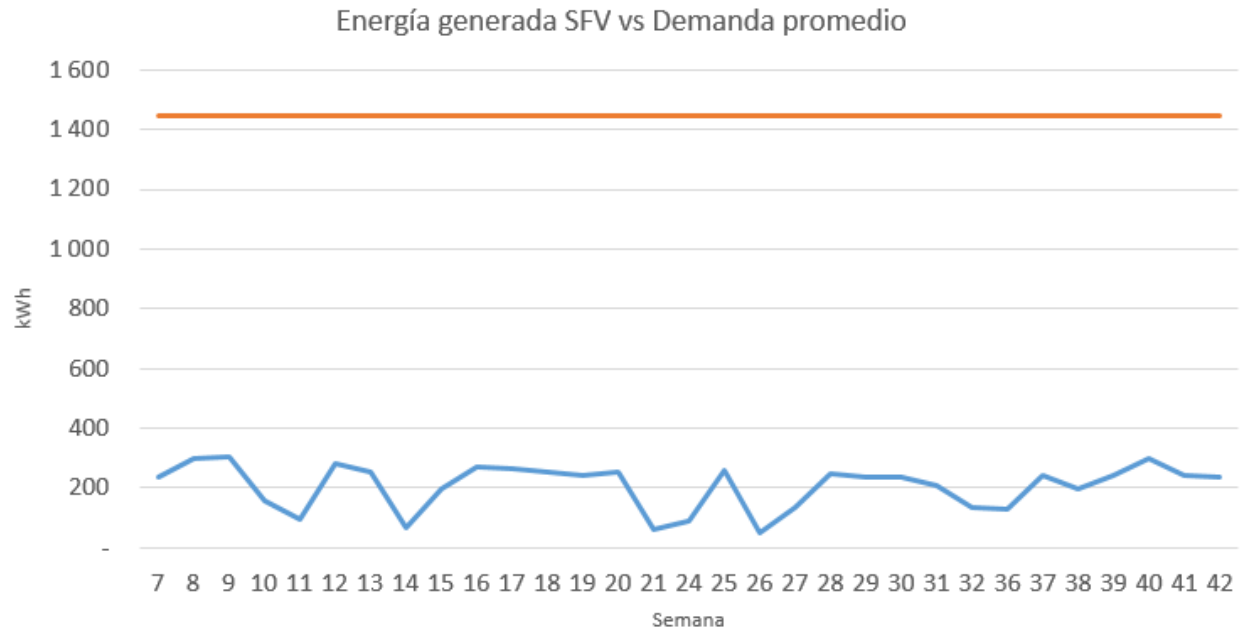


Figura 16. Energía eléctrica generada por el SFV vs la demanda promedio semanal.

3.3 Síntesis las potencias medidas en el tablero general

La Figura 12 ilustra la potencia activa promedio semanal en por unidad, consumida en la edificación en los diferentes tableros monitorizados. En tablero TP4 hay potencia activa inyectada por el sistema fotovoltaico, en algunos períodos supera el consumo de potencia activa en el cuarto piso. Se observa el gran consumo del tablero TP1, el cual supera a los demás tableros. Los tableros AA1 y AA2 presentan un consumo típico en el caso de los dos sub-tableros de aires acondicionados. Adicionalmente se observa un desequilibrio dentro de las fases del tablero TP1, pues la Fase A de color azul en varios instantes es de más del doble de la potencia de las dos fases restantes, alcanzando un pico de 1,2 kW del promedio semanal mientras que en el mismo instante las fases restantes están por los 0,7 kW y 0,9 kW.

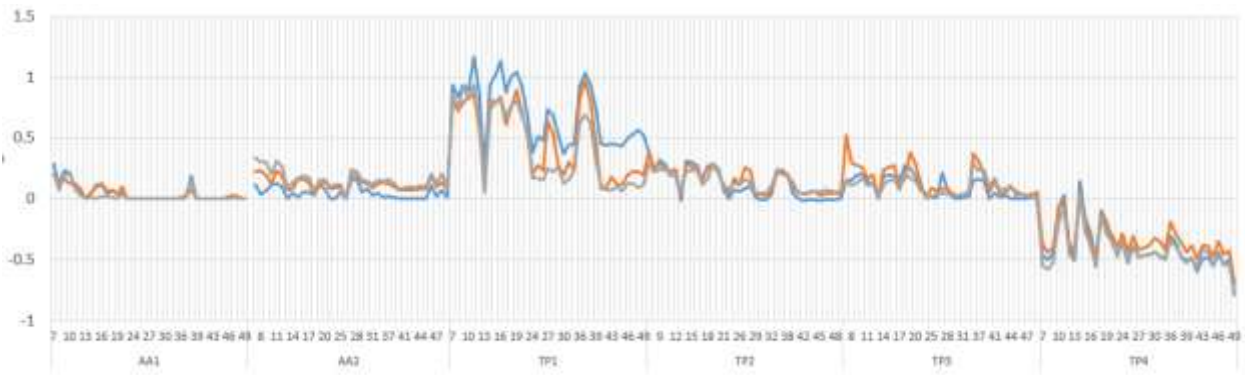


Figura 17. Potencia activa promedio (kW) semanal de los tableros de la edificación.

La potencia reactiva promedio semanal vista en la Figura 13 a pesar de ser irregular, en comparación al tablero de emergencia, conserva un comportamiento más constante en la línea de tiempo. En los tableros TP1 y TP4 se presentan la mayor cantidad de picos de la potencia reactiva.

Resalta la cantidad de potencia reactiva presentada en el piso TP4 y es inevitable pensar en su relación con el sistema fotovoltaico, conectado a este tablero de piso e influyendo en el mismo. Adicionalmente del tablero TP1, la Fase A tiene componente positiva mientras las fases B y C negativa, por cuanto refleja la naturaleza de la carga. Con máximos de 0,3 kVAR para el caso del tablero TP1 y de -0,2 kVAR para TP4.

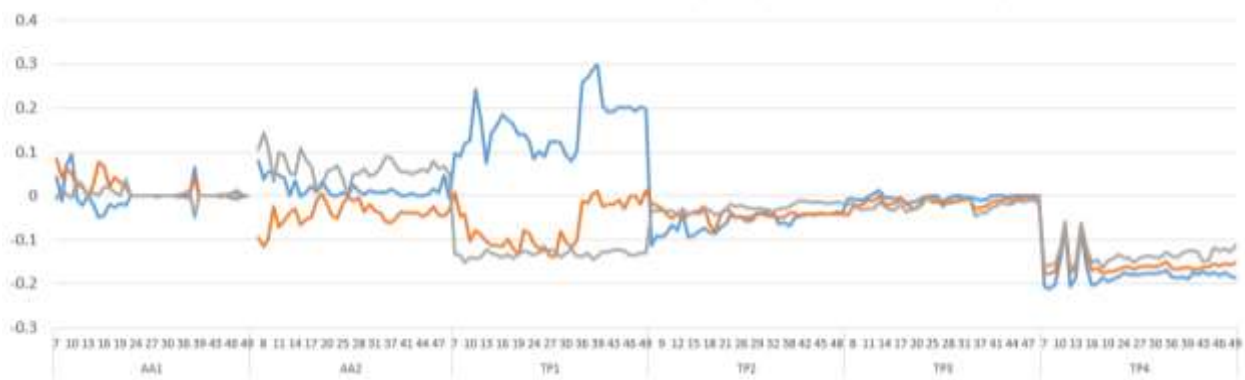


Figura 18. Potencia reactiva promedio (kVAR) semanal de los tableros de la edificación.

Para el caso del factor de potencia de las acometidas derivadas del tablero general, se obtiene una situación deseable en el caso de los tableros AA1 y AA2 con factores de potencia cercanos a la unidad. En el caso de los tableros TP1 y TP3 tienen un mínimo de 0,2 kVAr en su punto más bajo en sus fases B y C, pero su fase A se mantiene por encima de 0,8. El tablero TP3 tiene valores esporádicos y aleatorios con un valor máximo de 0,4 en la fase C.

Teniendo en cuenta que un factor de potencia bajo significa mayor potencia reactiva respecto a la potencia activa y menor eficiencia en el uso de la energía eléctrica; en los tableros TP4 y TP2 se observan factores de potencia bajos y diversos en las tres fases. En TP2 es una condición subyacente derivada de las cargas reactivas y la baja potencia activa, para el caso de TP4 se denota un caso similar, aunque se refleja en todas las fases de maneras similar, debido al equilibrio de las cargas.

En la Figura 14 se observa la diferencia en el factor de potencia de los tableros TP2 y TP1, con un cruce por cero en el tablero TP2 lo cual significa el cambio de adelanto a atraso del tablero en esa fase.

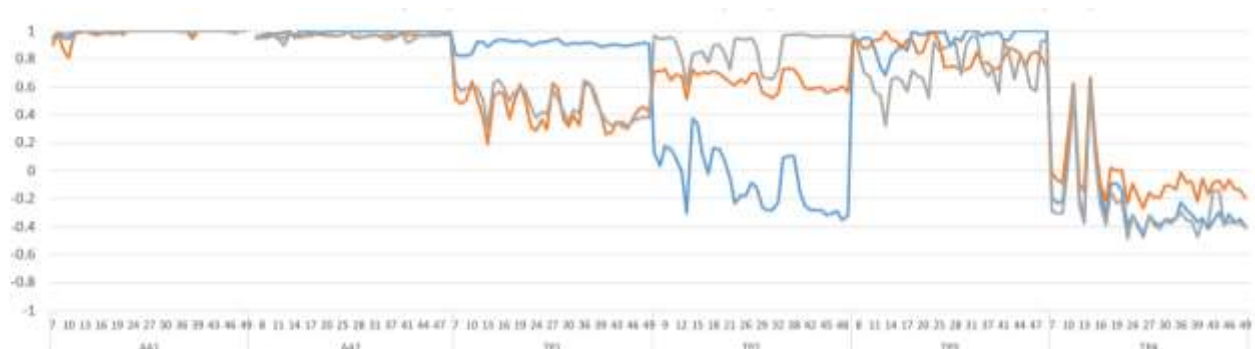


Figura 19. Factor de potencia semanal de los tableros de la edificación.

3.4 Tablero de emergencia

Para el caso del tablero de emergencia (EME), la potencia activa promedio se comporta con menor inestabilidad, conservando un comportamiento más predecible durante las semanas monitorizadas. Adicionalmente, se observa el comportamiento del tablero RACK en el cual se mide el mayor consumo de energía eléctrica de la edificación y de todos los tableros del edificio alcanzando los 3,5 kW mientras los demás tableros no superan 1 kW. Adicionalmente presenta un desequilibrio en la demanda de energía eléctrica de las fases, dado que la fase A toma valores cercanos a 3,5 kW, la fase B se encuentra alrededor de los 1,5 kW pero la fase C no supera los 0,5 kW.

El Tablero TP5 en la Figura 15 presenta una carga considerable en la fase C generando un desequilibrio en la cargabilidad del sistema trifásico, pues su fase C ronda los 0,9 kW, mientras que las fases A y B no superan los 0,3 kW.

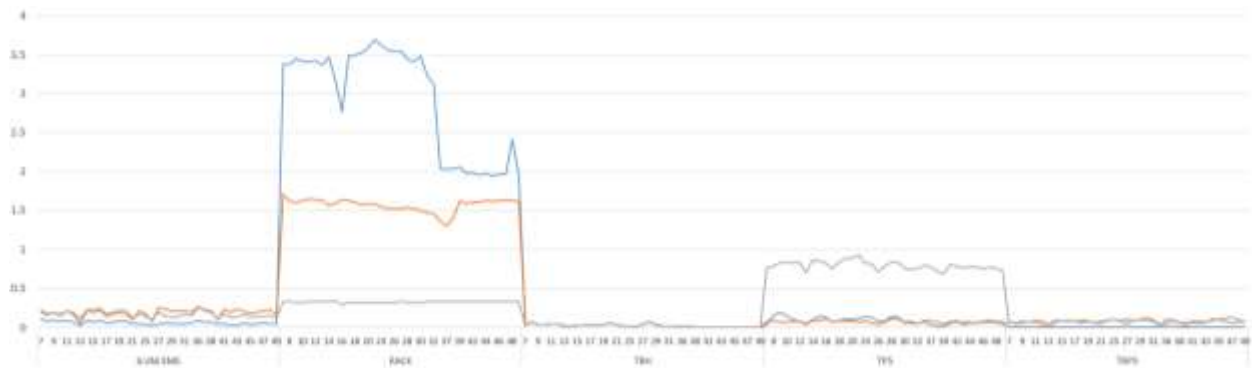


Figura 20. Potencia activa tableros ILU EME, RACK, TBH, TP5 y TRP5 kW.

La Figura 16 muestra la potencia reactiva en el tablero RACK sobre todo en las fases A y B, alcanzando máximos de 0,9 kVAR y 0,3 kVAR respectivamente, por lo cual se hace necesario

equilibrar las cargas de dicho tablero para mejorar su condición de operación. Los demás tableros conservan una potencia reactiva por debajo de los 0,1 kVAR.

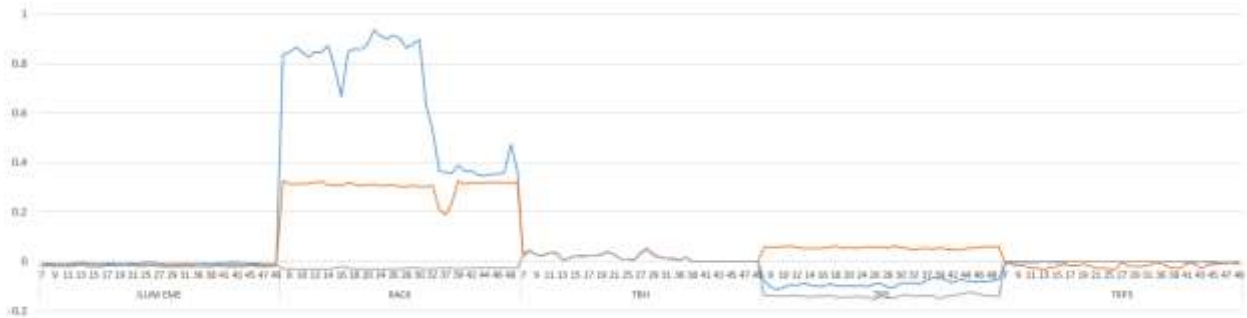


Figura 21. Potencias reactivas promedio tableros ILU EME, RACK, TBH, TP5 y TRP5

3.5 Tableros críticos

En la revisión de datos, se destaca la información de los tableros AA1, AA2, RACK y TP4 respecto a los demás tableros en función del horario, demanda o particularidades como el punto de conexión del sistema generación de energía eléctrica fotovoltaico.

A continuación, se presentan los datos del día jueves de la semana 14, y a partir de ellos se obtienen las potencias de los modelos de Fryze y Budeanu.

3.5.1 Tablero AA1. En la Figura 17 se muestra la gráfica de las potencias trifásicas medidas en el tablero AA1. En ella se observa el horario de funcionamiento de la carga, entre las 10:20 y las 14:20 alcanzando picos de potencia activa de 5 kW.

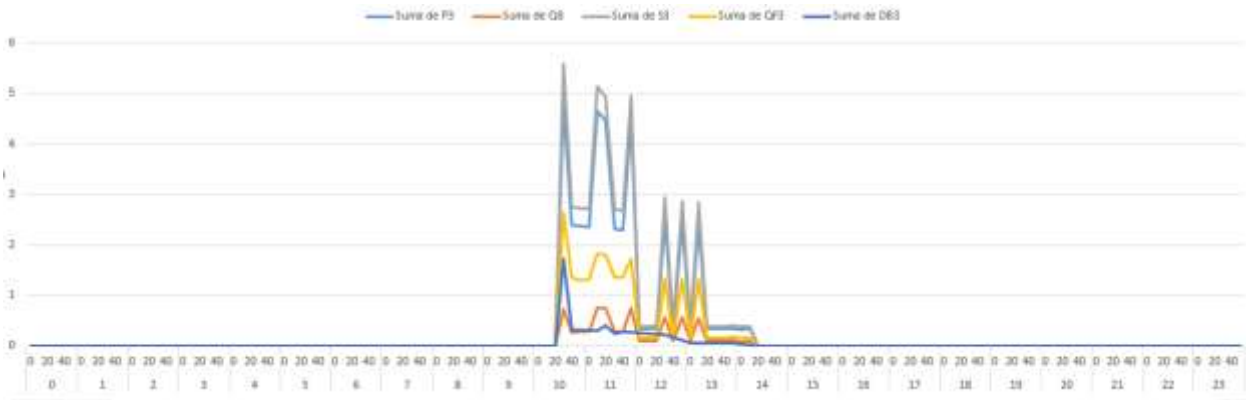


Figura 22. Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero AA1..

En la Figura 18 se muestran las potencias medidas por fase. Con un notable horario de trabajo del tablero iniciando a las 10 am y finalizando a las 2 pm, con un retardo de tiempo de 20 minutos.

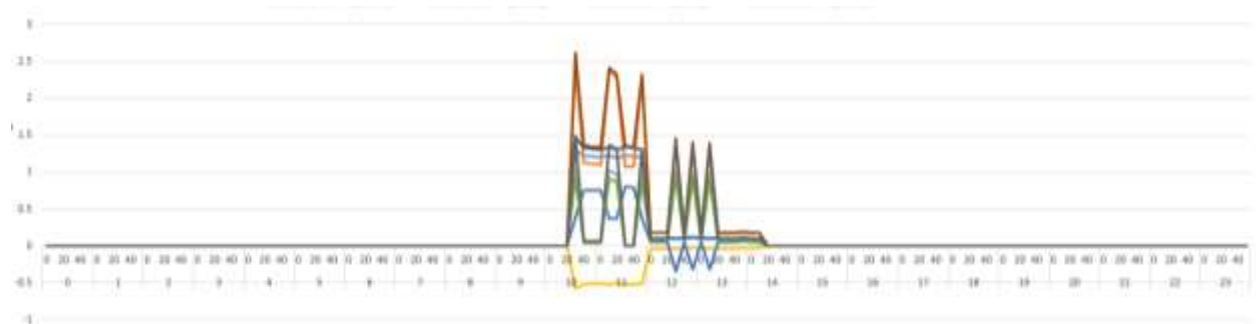


Figura 23. Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero AA1.

La Figura 19 muestra el comportamiento del factor de potencia durante el día; es decir, la franja de trabajo y la franja de apagado (en esta franja se ha fijado su valor como 1). La gráfica muestra que cerca a las 14 horas, cuando el funcionamiento es discontinuo en mayor medida, se tiene el peor escenario de factor de potencia alcanzando un valor cercano 0,6 debido a la naturaleza de la carga de la unidad condensadora de los aires acondicionados.

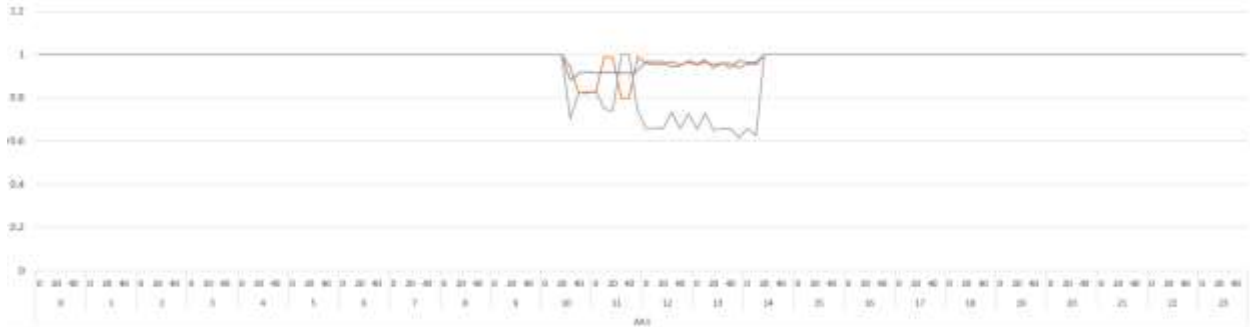


Figura 24. Factor de potencia del tablero AA1

3.5.2 Tablero AA2. En el tablero AA2 se realiza la monitorización del sistema eléctrico de los otros aires acondicionados, el comportamiento de los parámetros muestra que su uso es diferente al de la monitorización del tablero AA1. En la Figura 20 se observa que el periodo de uso es todo el día y solo tiene dos recesos, entre las 12 y las 14 horas, y entre las 22 y 23 horas. Adicionalmente, se observa un valor máximo de los parámetros de potencia entre las 16 y las 18 horas, superando los 4 kW en la potencia activa

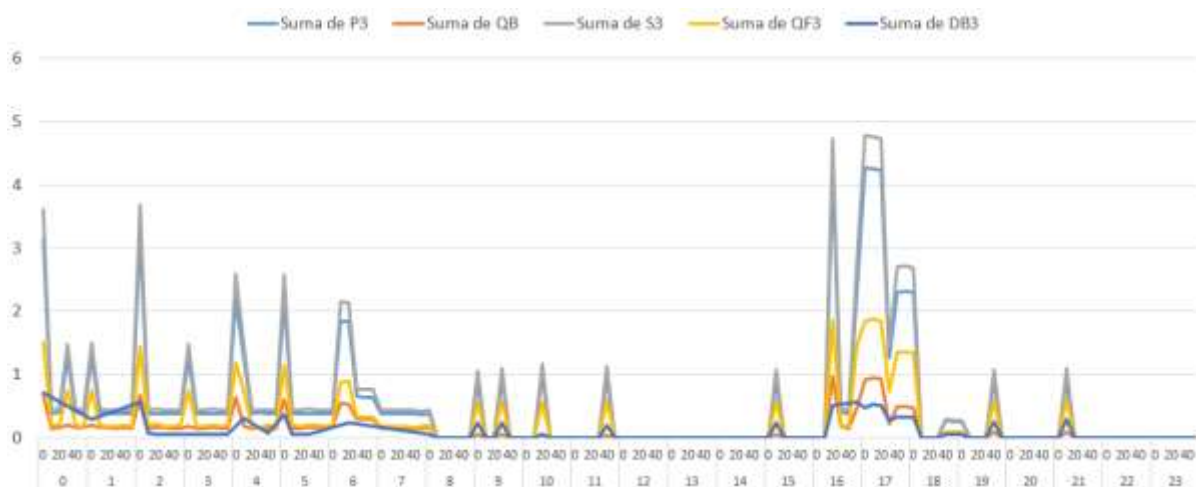


Figura 25. Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y D_B (kVAd) del tablero AA2.

En la Figura 21 se observa el comportamiento de los parámetros de potencia por fase. El comportamiento de la potencia reactiva de la unidad condensadora es la de mayor impacto, como se observa en la gráfica de color azul.

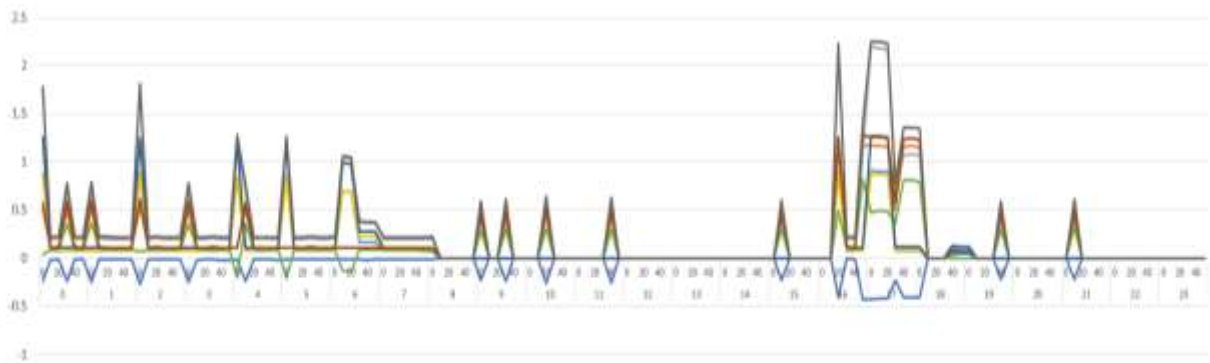


Figura 26. Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero AA2

La Figura 22 muestra los factores de potencia por fase, de allí se observa la fase a, la cual se relaciona con la potencia reactiva de la Figura 21. Pues las caídas en el factor de potencia de la Figura 22 son coincidentes con los picos en la potencia reactiva de la Figura 21 alcanzando valores de 0.65 aproximadamente, mientras las otras fases se mantienen por encima de 0,8.

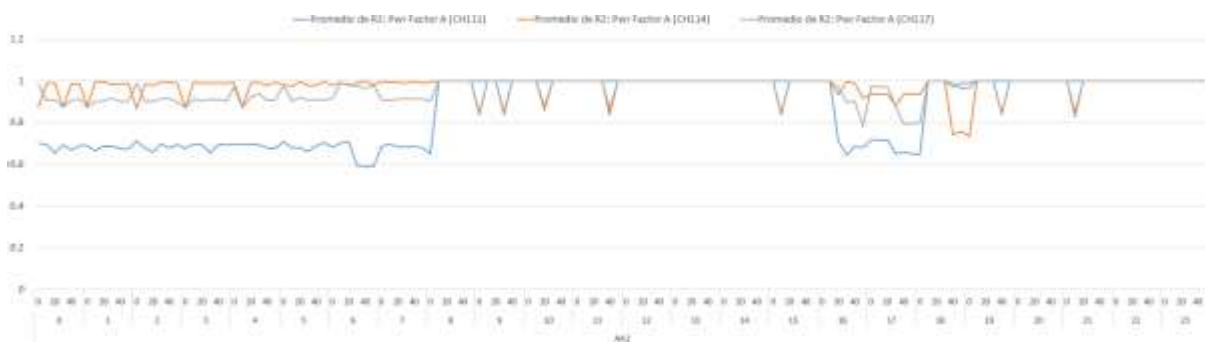


Figura 27. Factor de potencia por fase del tablero AA2, CH111, 114, 117 fases a, b y c.

3.5.3 Tablero RACK. El tablero RACK alimenta las cargas de los racks del edificio, los cuales hacen referencia a aires acondicionados de uso continuo, entre el 30% y el 50% de la demanda total del edificio según el periodo de funcionamiento. Como se observa en la Figura 23 alcanza los 6 kW promedio continuo. Adicionalmente una potencia reactiva que alcanza aproximadamente 1,5 kVAr.

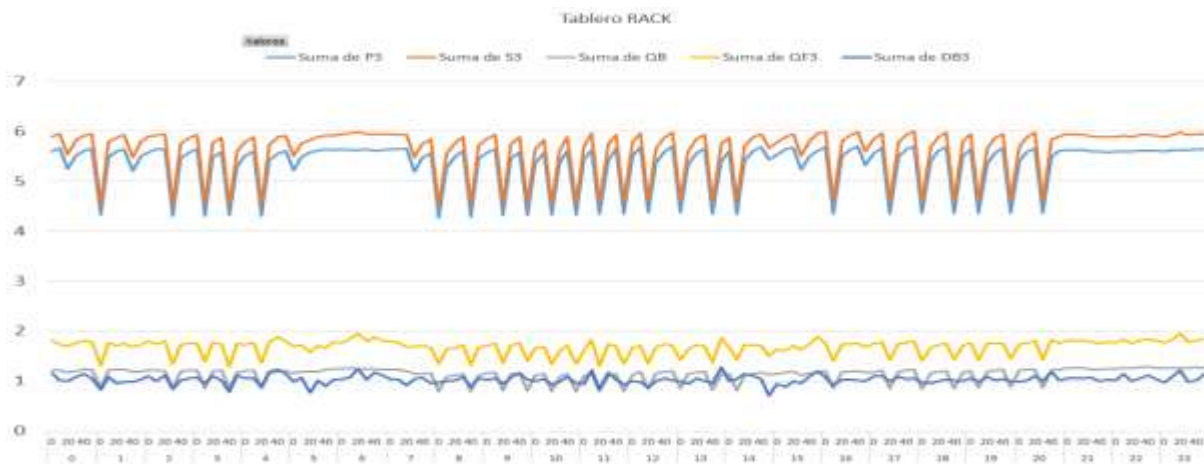


Figura 28. Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero RACK

En la Figura 24 se muestra el desbalance en la distribución de las cargas eléctricas que se encuentra alimentadas por este tablero. Mientras que la potencia aparente promedio de la fase a es de 3,5 kVA, en la fase b esta potencia es de 1,5 kVA y para la fase c de 0,4 kVA. Esto incide en un desequilibrio del sistema; con el impacto adicional que este sistema es de funcionamiento continuo y es el que consume la mayor cantidad de potencia de la edificación.

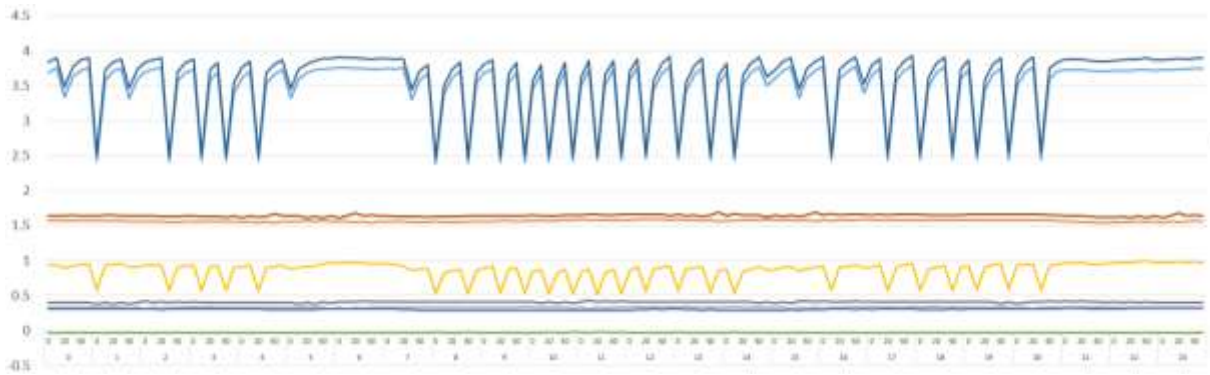


Figura 29. Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero RACK.

El factor de potencia es cercano a 1 en las fases a y b, mientras que en la fase c es cercano a 0,8 como se observa en la Figura 25.

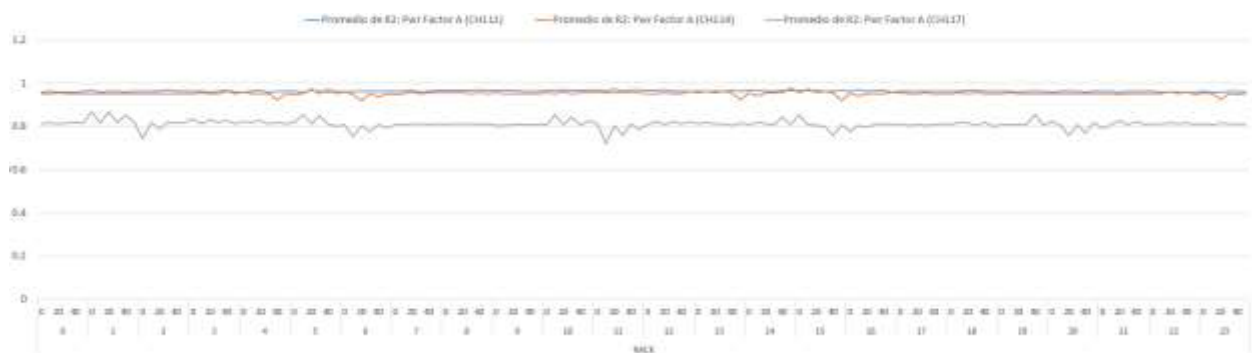


Figura 30. Factor de potencia por fase del tablero RACK, CH111, 114, 117 fases A, B y C.

3.5.4 Tablero TP4. El comportamiento de las cargas eléctricas conectadas al tablero TP4 se muestra en la Figura 26. Las cargas eléctricas que están conectadas, corresponden además de la iluminación, los aires acondicionados de las aulas del cuarto piso. En este tablero, adicionalmente está conectado el sistema de generación FV. La dinámica del uso de los aires acondicionados, hace que se presenten comportamientos que se modifican hora a hora por la utilización que tengan

las aulas y por la generación de energía eléctrica del sistema FV, que depende de la radiación solar que se presente cada día

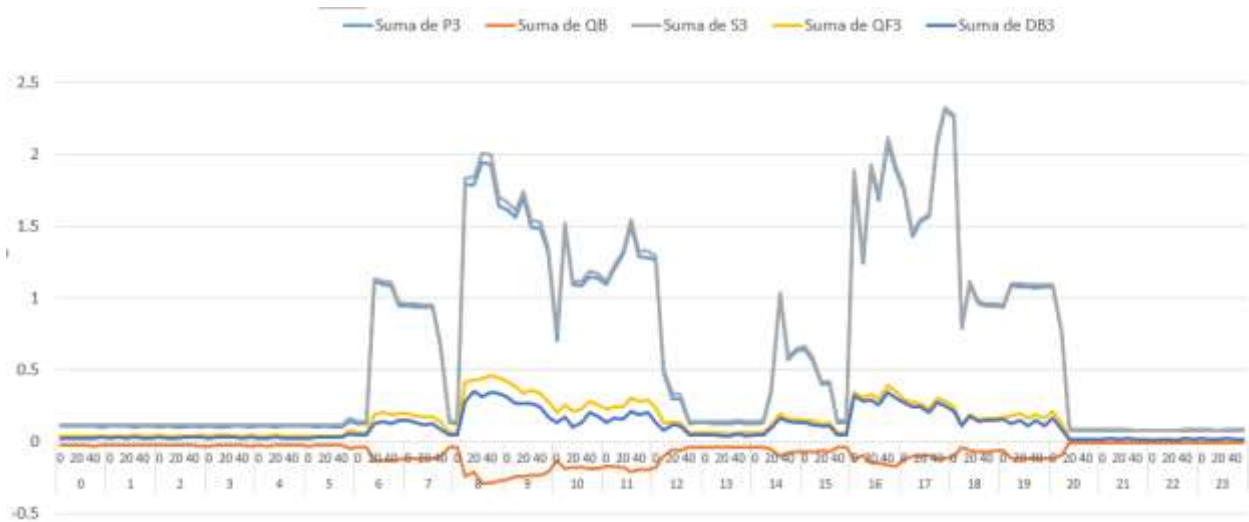


Figura 31. Potencias trifásicas activa (kW), reactiva (kVAr), aparente (kVA), de Fryze (kVAn) y DB (kVAd) del tablero TP4.

En la Figura 27 se muestra el desbalance en la distribución de las cargas eléctricas que se encuentra alimentadas por este tablero de forma similar que el tablero RACK. Mientras que la potencia aparente promedio de la fase a es de 0,3 kVA, en la fase b esta potencia es de 0,3 kVA y para la fase c de 0,6 kVA.

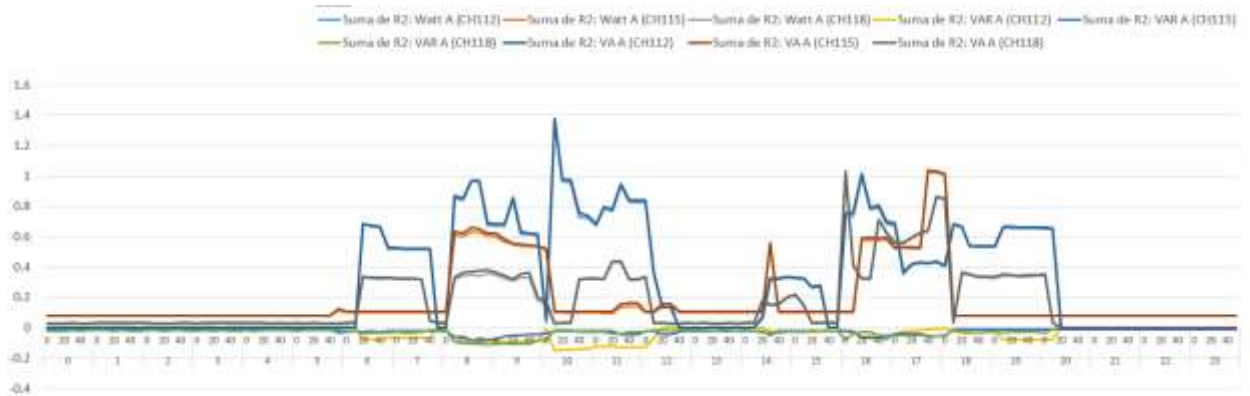


Figura 32. Potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA) por fase del tablero TP4, CH112, 115, 118 fases a, b y c.

En la Figura 28 se observa el comportamiento del factor de potencia en este tablero. Como se puede observar el factor de potencia tiene cambios en su valor que están relacionados con la potencia que es suministrada por el sistema de generación de energía eléctrica FV.

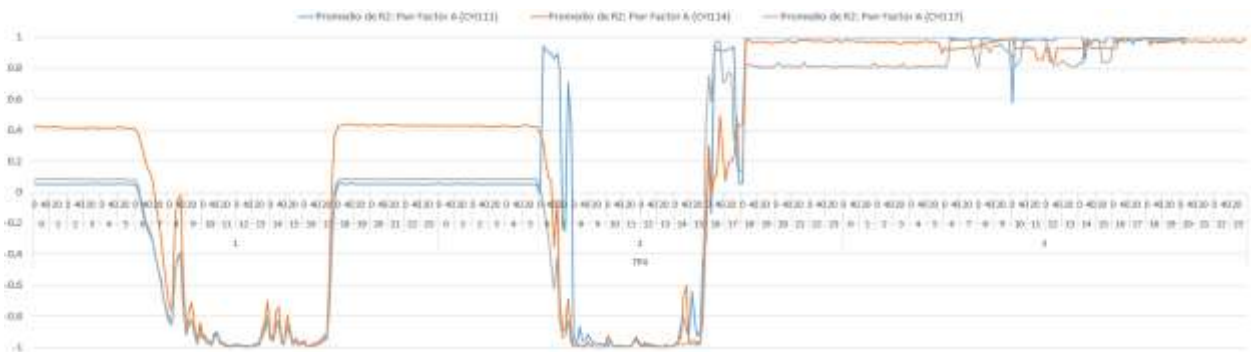


Figura 33. Factor de potencia por fase del tablero TP4. 111,114 y 117 corresponden a las fases a, b y c

4. Análisis de curvas distorsión armónica total y desbalance de las corrientes

En este capítulo se analiza la distorsión armónica total y el desbalance de corrientes de los tableros de la edificación. En la primera parte, se ilustra la distorsión armónica total por fase, obtenidos mediante los dispositivos AcuRev y representados mediante histogramas de frecuencia por tablero. Se usan todos los datos disponibles tratados en el Capítulo 1. En la segunda parte, se ilustran las figuras de la distorsión armónica total por fase de un día específico y máximo por semana según sea requerido. En la Tabla 14 se encuentran los valores típicos presentados en los datos recopilados de la distorsión armónica total de corriente.

4.1 Distorsión armónica total de corriente THDI

Destacan que en algunos tableros los máximos valores son del 600 %. Es de anotar que estos valores se han podido presentar en momentos donde la carga conectada al tablero es mínima y por lo tanto el equipo de medición está midiendo en la franja donde se presenta una incertidumbre fuera de las especificaciones del equipo.

Tabla 9.

Valores promedio y máximos del THDI (%).

Tablero	THD max A	THD max B	THD max C	THD prom A	THD prom B	THD prom C
RACK	495,01	165,16	609,64	13,44	24,44	70,72

Tablero	THD max A	THD max B	THD max C	THD prom A	THD prom B	THD prom C
T ILU	361,24	168,98	654,44	6,42	35,63	13,37
EME						
TBH	165,12	645,55	162,56	0,47	0,76	0,46
AA1	76,93	128,00	163,70	0,57	0,48	0,54
TP5	99,99	128,00	165,59	33,27	21,69	12,27
AA2	648,52	486,65	649,68	0,872	5,090	24,428
TP1	163,75	606,05	162,53	16,12	14,52	20,36
TP2	616,44	167,25	613,20	17,09	16,85	12,16
TP3	491,19	628,06	488,18	3,08	43,25	5,10
TP4	491,28	163,54	651,20	11,93	13,02	11,87
TRP5	374,48	165,10	650,24	13,91	74,30	60,33

A continuación, se realiza un análisis de la distorsión armónica total de la corriente por tablero.

a. Tablero TP1

b. En la Figura 29 se observan los valores máximos de la THDI de corriente en el tablero TP1.

Se observa que en las primeras 20 semanas se obtuvo un comportamiento con picos en la distorsión alrededor del 500% en la fase b (los cuales son atípicos). Posteriormente, desde la semana 21 hasta la semana 49 el valor máximo se mantiene en valores esperados debido a no linealidad de las cargas instaladas, mayoritariamente cargas de iluminación.

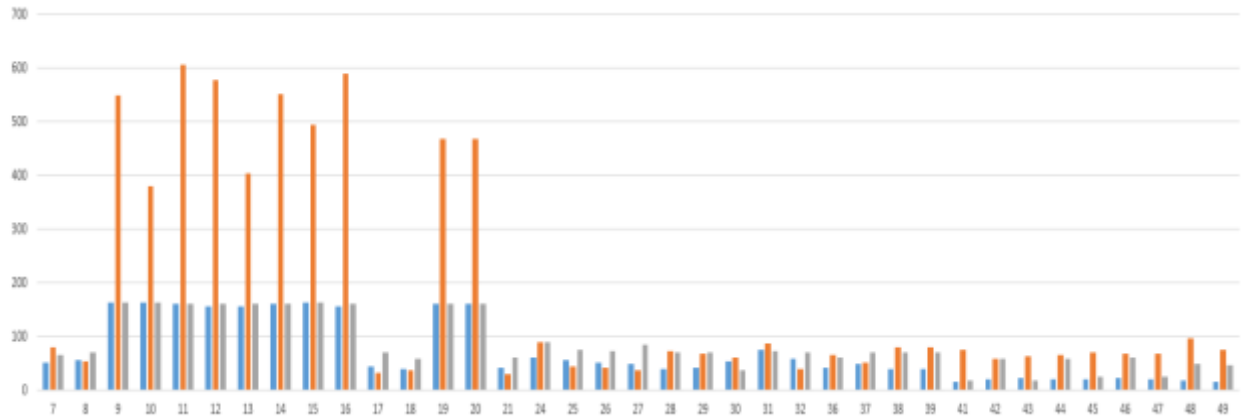


Figura 34. Valores máximos del THDI (%) por semana en el tablero TP1.

c. Tablero TP2

Este tablero mide cargas de iluminación y tomas corrientes del piso 2, al igual que en las medidas realizadas en el tablero TP1, se presentan unos valores de THDI atípicos. Como se observa en la Figura 30, los valores máximos del THDI son similares a los presentados en el TP1. Por otra parte, los valores promedios del THDI se muestran en la Figura 31 y se observa que están dentro de los valores esperados para las cargas instaladas en este tablero (iluminación, vídeo beam, computadores portátiles, extractores de aire entre otros).

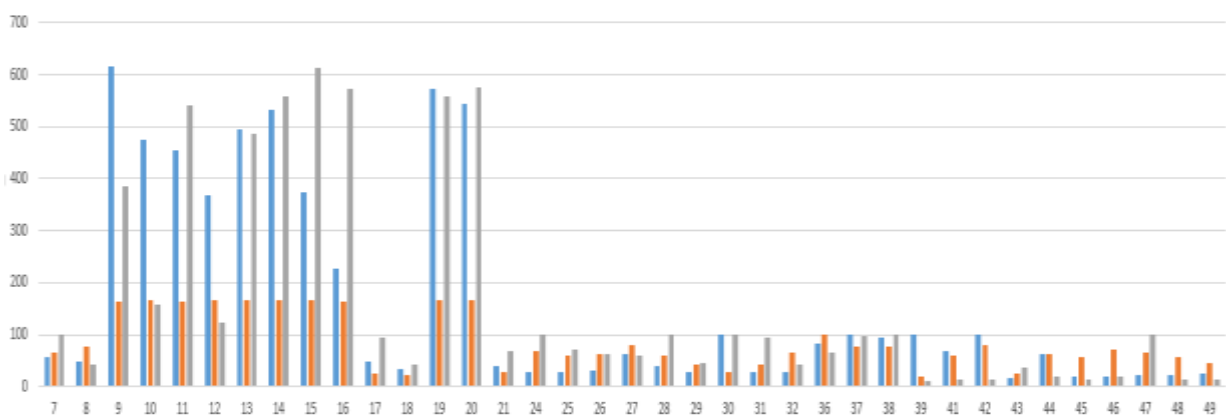


Figura 35. Valores máximos del THDI (%) por semana en el tablero TP2.

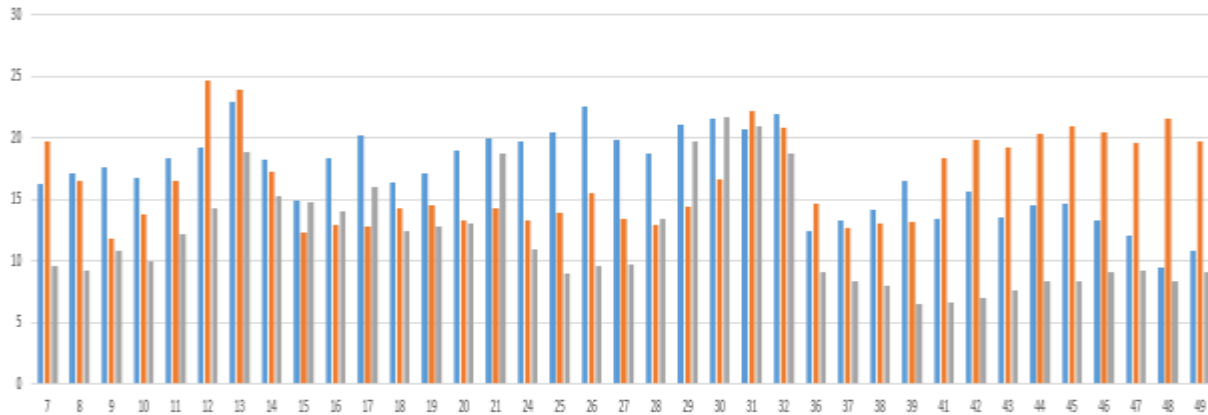


Figura 36. Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP2.

d. Tablero TP3

En este tablero se observa un incremento en la distorsión armónica a partir de la semana 26 específicamente en la fase b, con un promedio oscilando en un 50% tal como se muestra en la Figura 32.

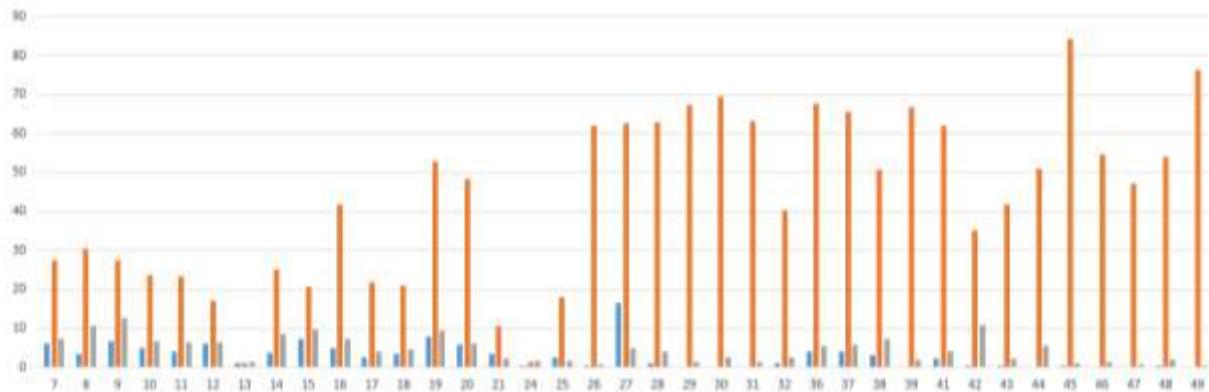


Figura 37. Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP3.

e. Tablero TP4

En el tablero TP4 están cargas de iluminación estándar y algunas tomas. Tiene un comportamiento similar a los otros tableros de piso, como se observa en las figuras 33 y 34.

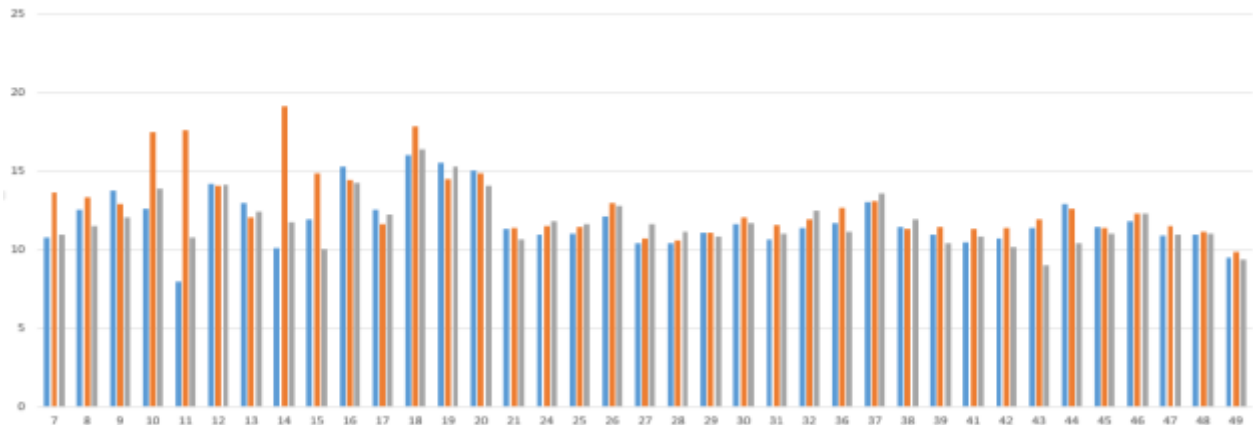


Figura 38. Valores promedios del THDI (%) por semana en el tablero TP4.

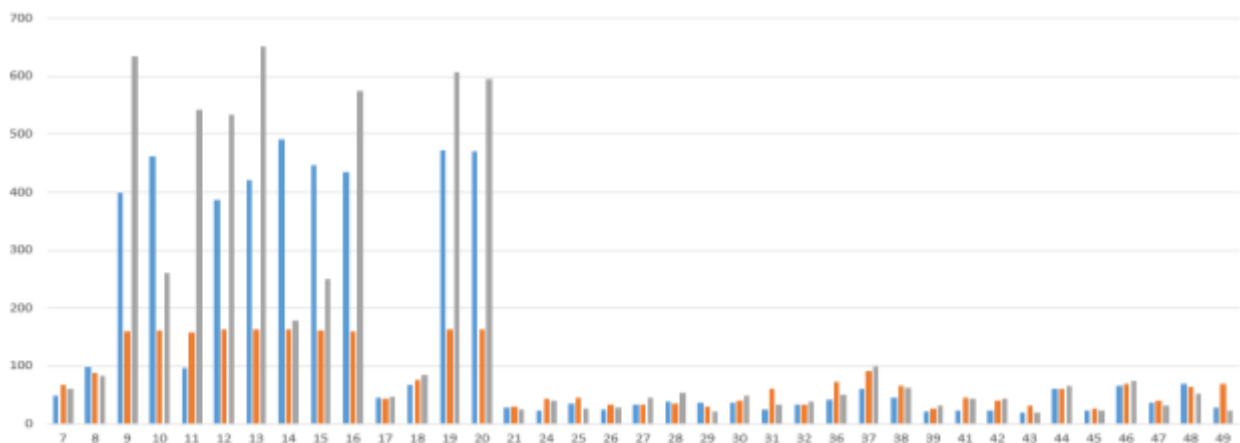


Figura 39. Valores máximos del THDI (%) del tablero TP4.

f. Tablero AA1

De las figuras 35 y 36 se observa la gráfica del tablero AA1 conserva promedios de THDI muy bajos alrededor del 1% las primeras 20 semanas, posteriormente bajan aún más, solo teniendo una semana con promedio alrededor del 2% la semana 38. Por otra parte, el tablero AA2 tiene valores

cercanos al 20% para la fase c, el 5% la fase b y en la fase a son insignificantes. Adicionalmente presenta valores máximos del 120% las primeras 20 semanas. Posteriormente entre la semana 21 y 49 presenta máximos del cercano al 16%.

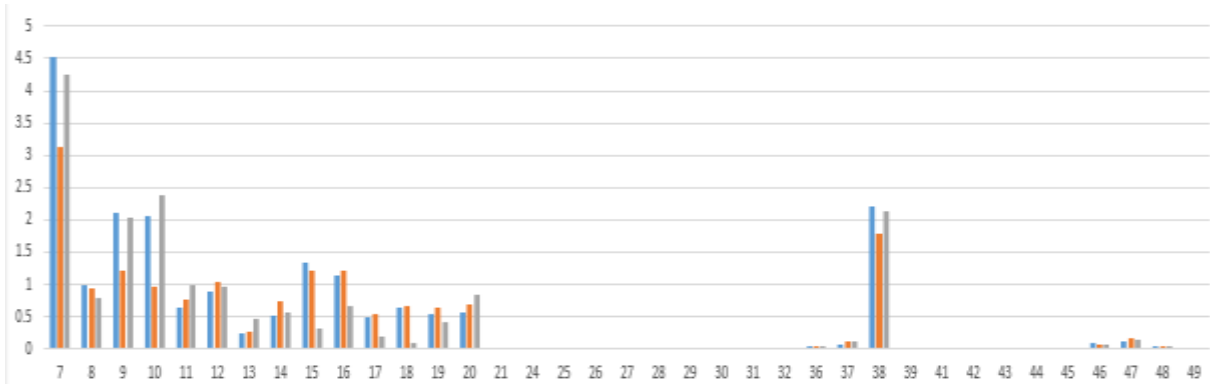


Figura 40. THDI (%) promedio semanal del tablero AA1.

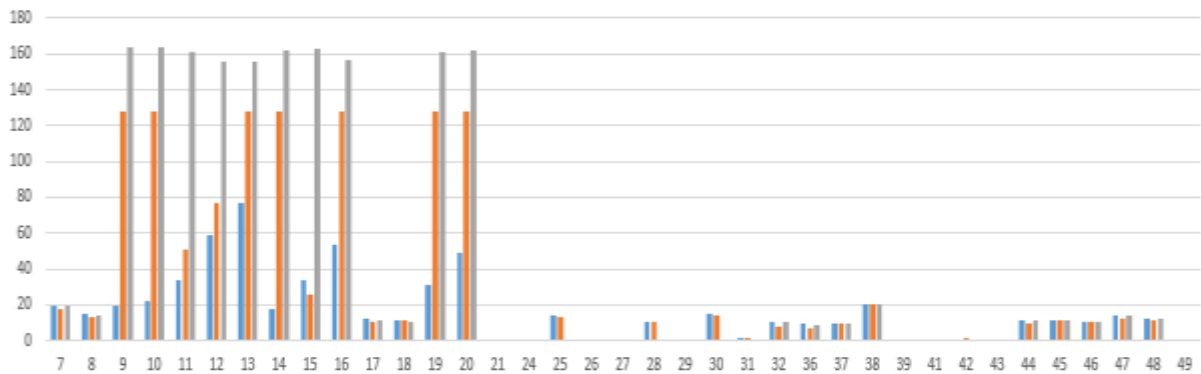


Figura 41. THDI (%) máximo semanal del tablero AA1.

g. Tablero AA2

En el tablero AA2 los valores máximos de la distorsión de corriente son atípicos las primeras 20 semanas, el resto de semanas conserva un comportamiento constante sin oscilaciones abruptas, como se observa en las figuras 37 y 38.

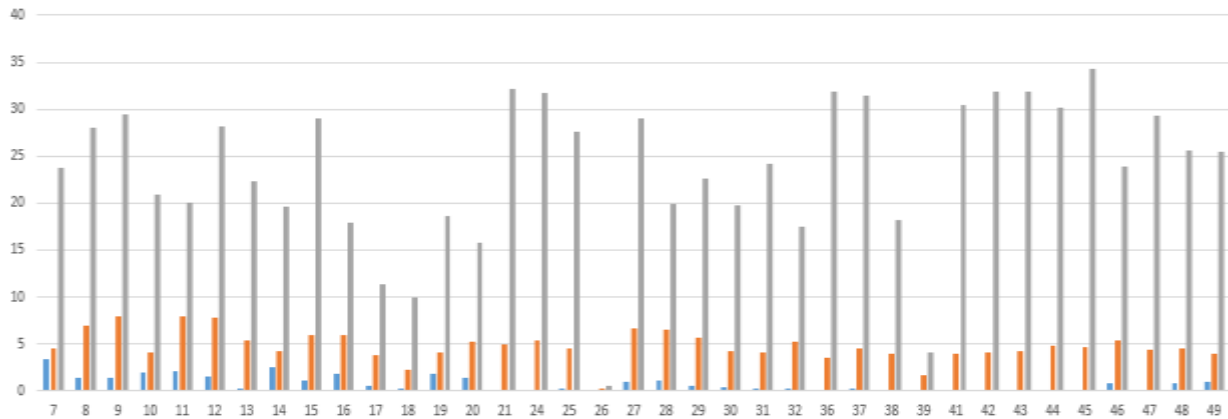


Figura 42. THDI promedio semanal del tablero AA2.

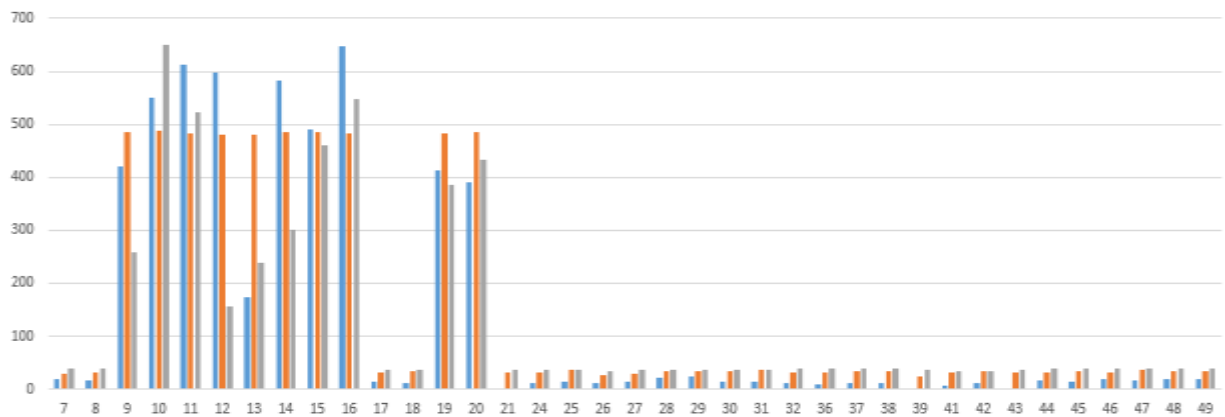


Figura 43. THDI (%) máximo semanal del tablero AA2.

h. Tablero Rack

El tablero RACK monitoriza las cargas correspondientes a aires acondicionados racks y sus cargas asociadas, es el tablero de mayor demanda y refleja un valor máximo de distorsión armónica de corriente en las fases a y c por encima del 400% (ver Figura 39). La fase b tiene valores máximos alrededor del 150%. Con respecto a los valores promedios de la distorsión armónica de corriente, la fase c es la de mayor distorsión, cercana al 70%, mientras que en la fase a es del 15% y en la fase b del 24 % como se muestra en la Figura 40.

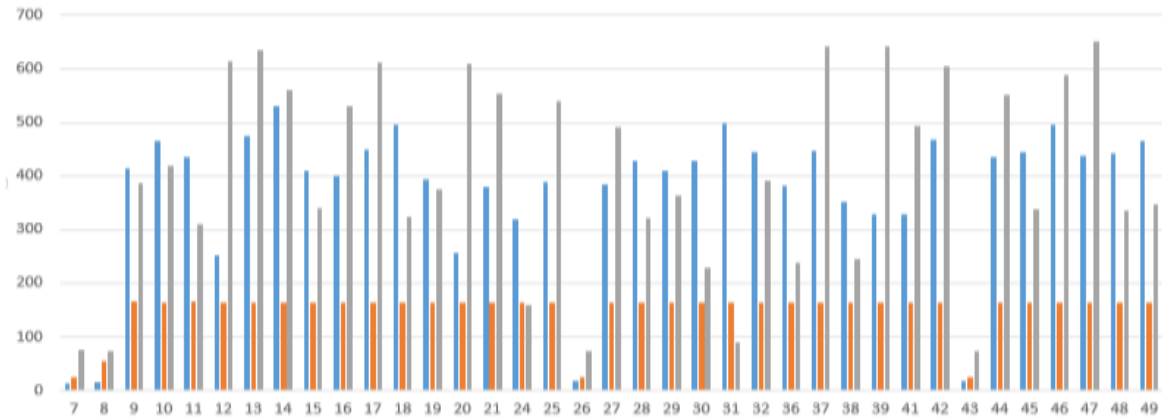


Figura 44. THDI (%) máximo semanal del tablero RACK.

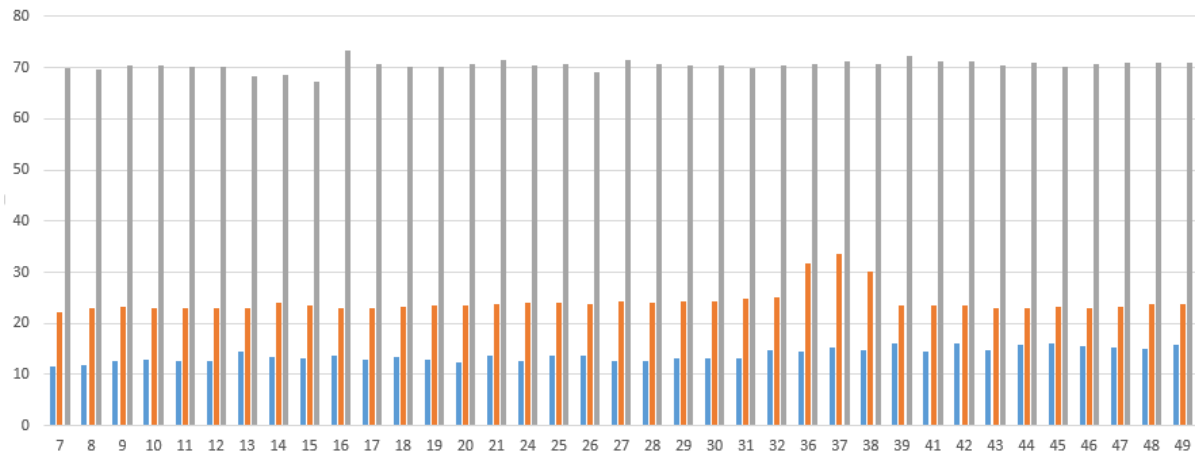


Figura 45. THDI (%) promedio semanal del tablero RACK.

i. Tablero ILU EME

Este tablero ILU EME se refiere a la iluminación de emergencia y atiende iluminación fluorescente y led. Los valores promedios del THDI para la fase b son cercanos al 33%, mientras que para la fase es del 5% y para la fase c del 13% como se muestra en la Figura 41.

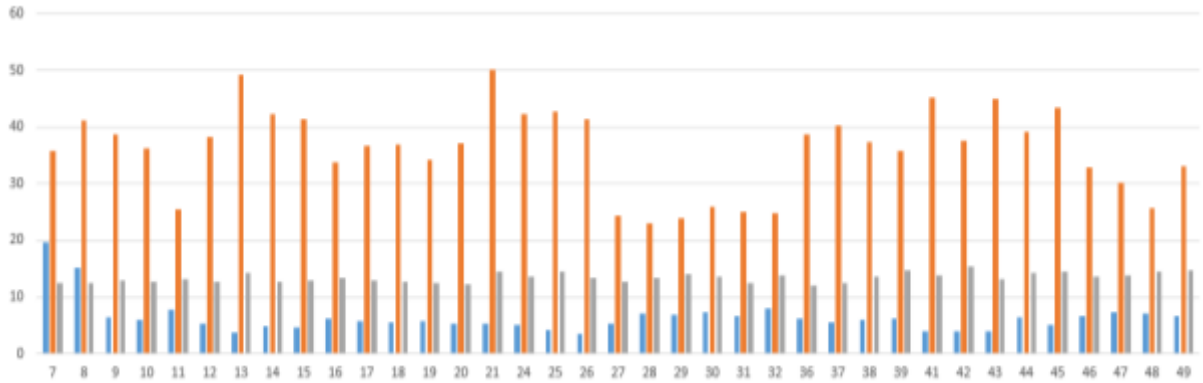


Figura 46. THDI (%) promedio semanal del tablero ILU EME.

j. Tablero TBH

Las cargas conectadas al tablero TBH son bombas de agua. Como se muestra en la Figura 42, éstas presentan valores máximos de distorsión atípicos (alrededor del 500%). Los valores promedios de distorsión de corriente son en general bajos (alrededor del 6%), como se espera en este tipo de cargas (ver Figura 43).

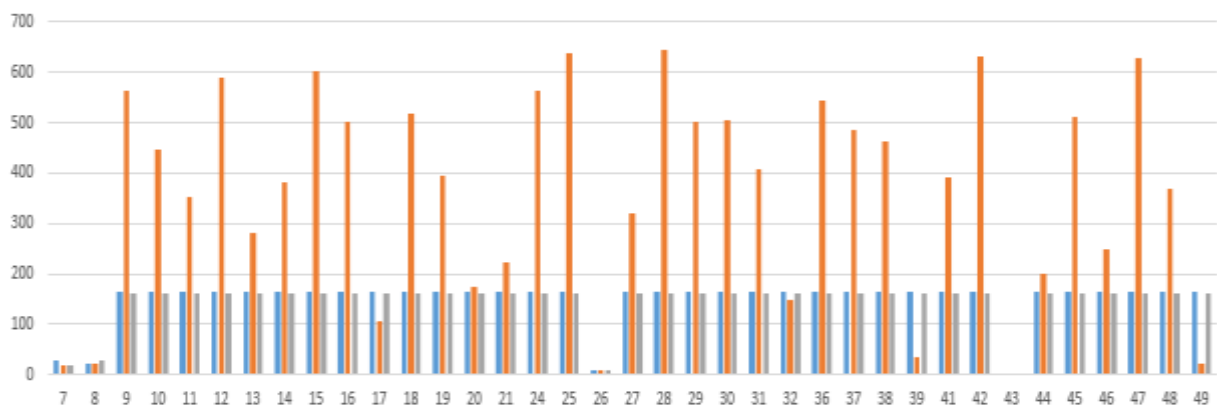


Figura 47. THDI (%) máximo semanal del tablero TBH.

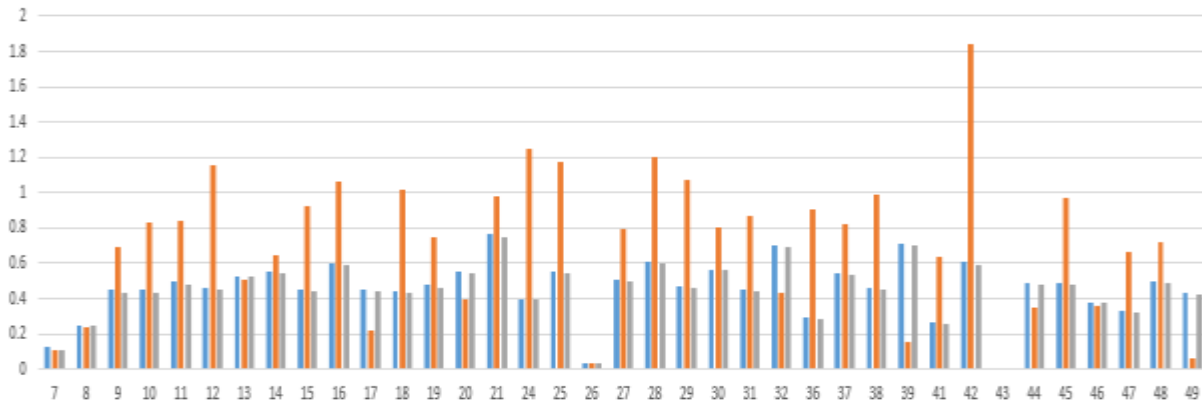


Figura 48. THDI (%) promedio semanal tablero TBH.

k. Tablero TP5

Este tablero monitoriza cargas relacionadas con computadores, iluminación y otros artefactos. Los valores de la distorsión armónica de corriente presentan valores máximos del 120% y 100% para las fases a y b, la fase c se mantiene alrededor del 20%. Los valores promedios de distorsión armónica no sobrepasan el 50% en algunos meses. Las figuras 44 y 45 muestran los valores promedios y máximos de distorsión armónica medidos en este tablero.

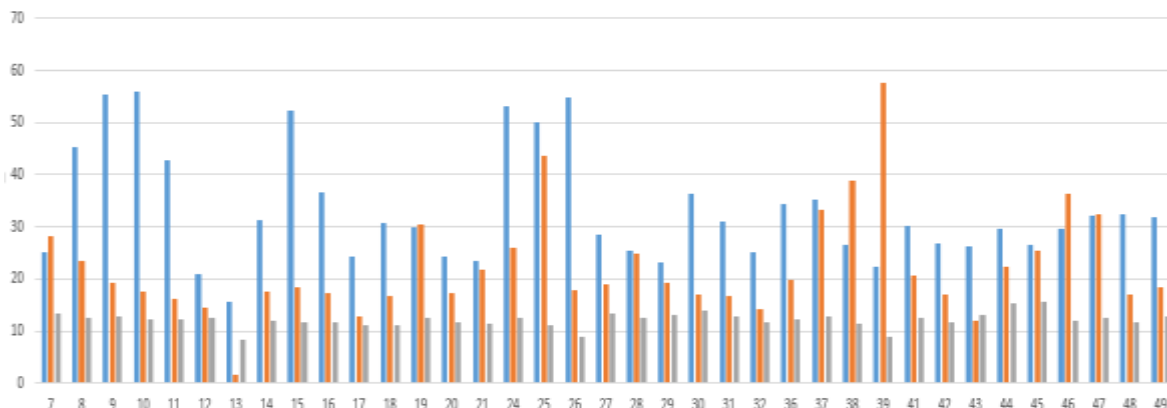


Figura 49. THDI (%) promedio semanal en el tablero TP5.

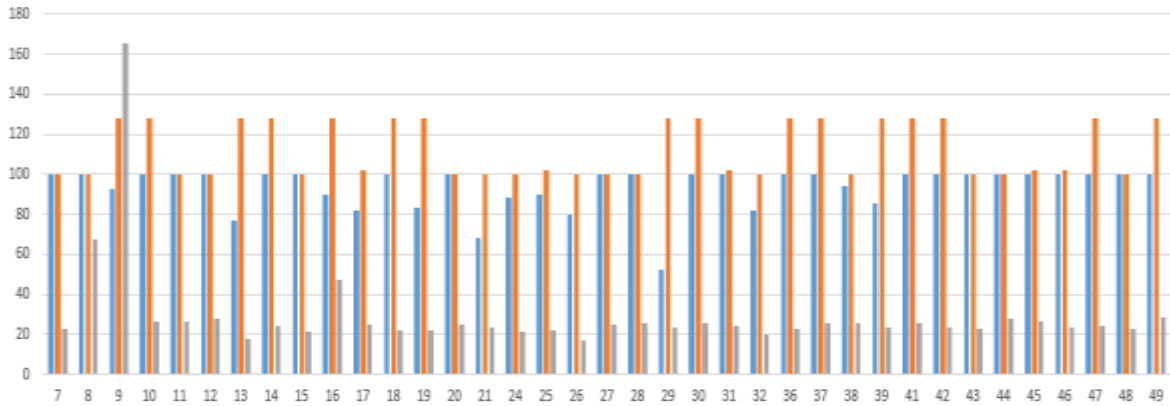


Figura 50. THDI (%) máximo semanal en el tablero TP5.

1. Tablero TRP5

Las cargas conectadas al tablero eTRP5 tienen un comportamiento similar en la distorsión armónica total de corriente durante todo el año como se muestra en las figuras 46 y 47.

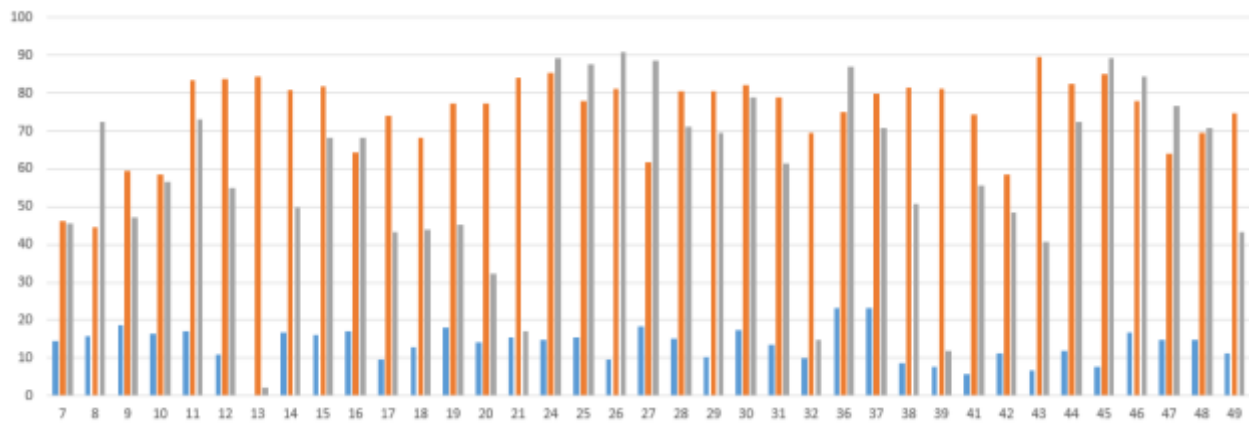


Figura 51. THDI (%) promedio semanal del tablero TRP5.

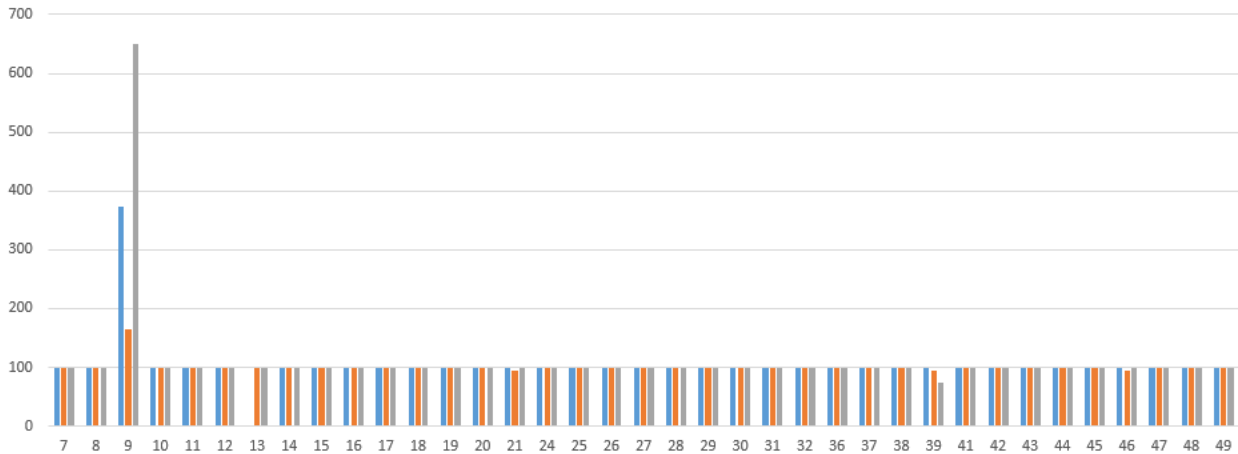


Figura 52. THDI (%) máximo semanal del tablero TRP5.

4.2 Desbalance de corriente

El desbalance de corriente en un sistema trifásico hace referencia a la diferencia entre las corrientes de las fases en un instante específico. Es un parámetro importante para denotar los desequilibrios en el sistema que son consecuencia normalmente de la conexión de cargas monofásicas de diferentes potencias en cada una de las fases. Una forma de calcular el desbalance de las magnitudes de las corrientes es mediante la expresión 3.

$$desb I = \max\left(\frac{I_r - I_{prom}}{I_{prom}}; \frac{I_s - I_{prom}}{I_{prom}}; \frac{I_t - I_{prom}}{I_{prom}}\right) \quad (3)$$

Se analizan los valores del promedio y del máximo de desbalance por tablero y, con estos dos valores se puede establecer algunas características de la carga.

En la Tabla 15 se presentan los valores de desbalance máximo y promedio de los tableros en el edificio para el periodo monitorizado. En esta tabla se observa que varios tableros tienen una condición desfavorable por desbalance. Para describir con más detalle las variaciones del

desbalance en la magnitud de la corriente, a continuación, se presentan gráficos de la variación del desbalance (en p.u.) en los diferentes tableros durante el período de monitorización.

Tabla 10.

Desbalances de las magnitudes de la I en los tableros del edificio.

Tablero	Desb max %	Desb prom %
RACK	148,27	84,71
T ILU EME	181,44	71,31
TBH	6,27	0,03
AA1	100,00	5,29
TP5	200,00	135,88
TP1	167,64	58,63
TP2	189,40	54,59
TP3	200,00	128,06
TP4	200,00	23,47
TRP5	200,00	116,96
AA2	100,00	21,37

Las figuras 48 y 49 muestran los valores máximo y promedio del desbalance de las magnitudes de la corriente de los tableros TP1 y TP2 durante un año, dado que sus cargas son similares. El valor máximo de desbalance de corriente es de 1,6 para el tablero TP1 y 1,8 para el tablero TP2, con valores promedios entre 0,4 y 0,6 con un crecimiento destacado en el tablero TP1, en el segundo semestre del año.

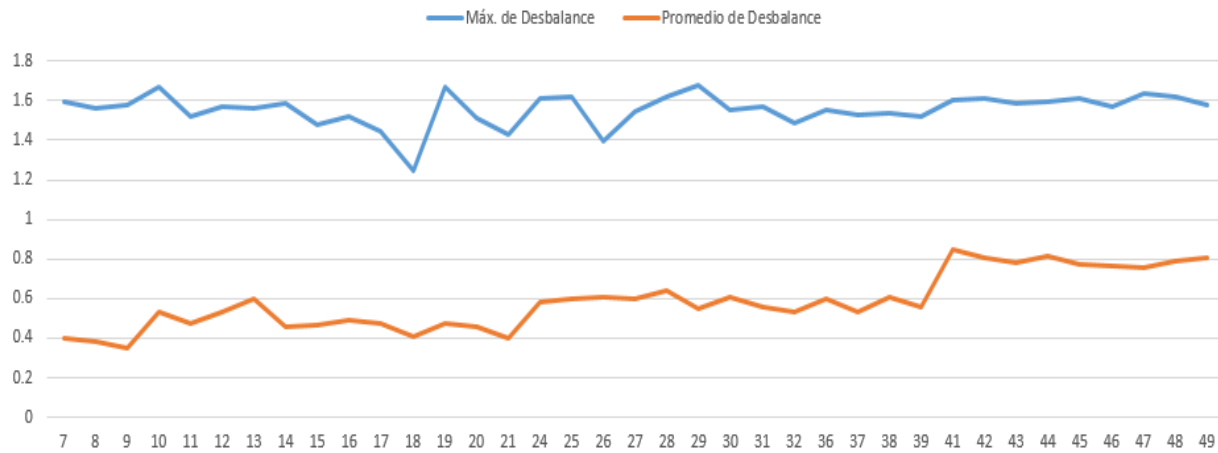


Figura 53. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP1.

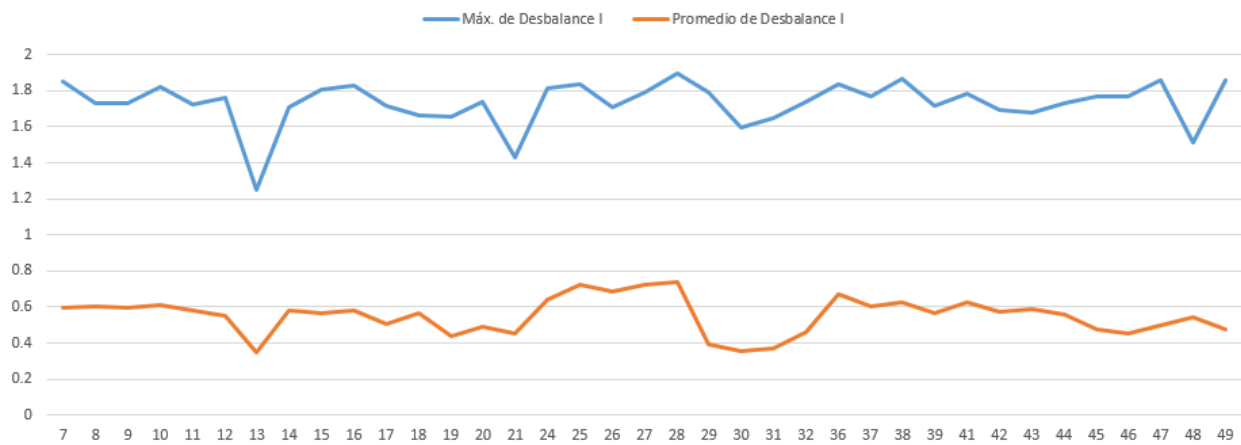


Figura 54. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP2.

El comportamiento desbalance del tablero TP3 se muestra en la Figura 50, donde el desbalance máximo presenta un comportamiento continuo de 2,0 durante todo el año, con una notable característica del valor promedio de similar comportamiento, con valores cercanos a los valores máximos.

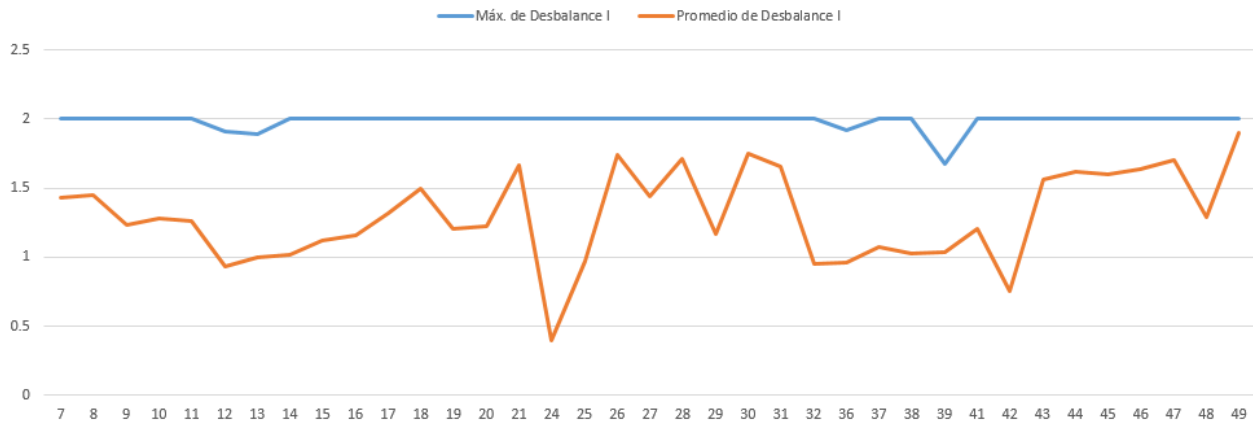


Figura 55. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP3.

En el caso del tablero TP4 se tiene un desbalance promedio por debajo de 0,5 y mantiene un máximo por debajo de 1,5 durante la segunda parte del año, por lo tanto, esta segunda parte del año ha conllevado cambios favorables en la demanda del sistema, haciéndolo más robusto y estable para el tablero TP4, como se observa en la Figura 51.

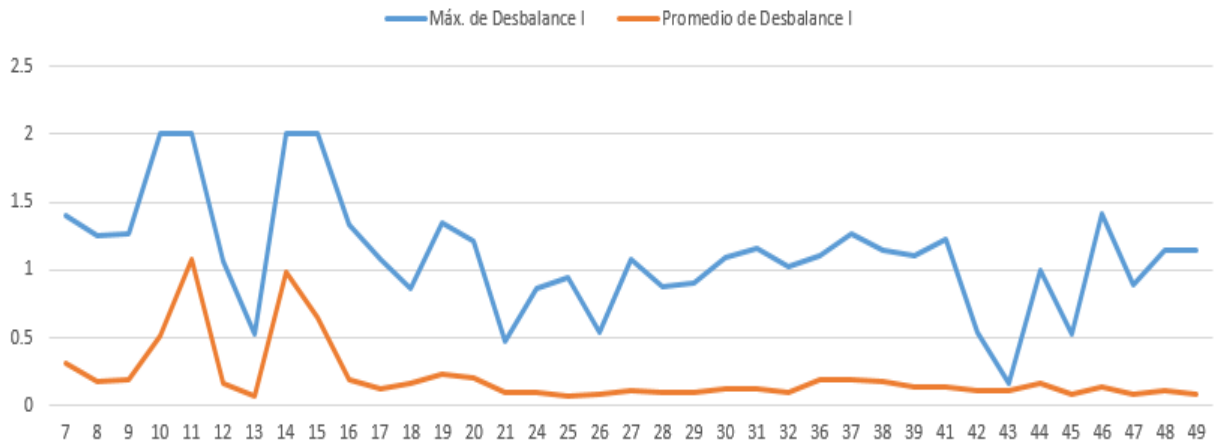


Figura 56. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP4.

En el tablero AA1 debido al su uso intermitente de las cargas conectadas a él, se observa en la Figura 52 que el desbalance presenta un comportamiento también esporádico.

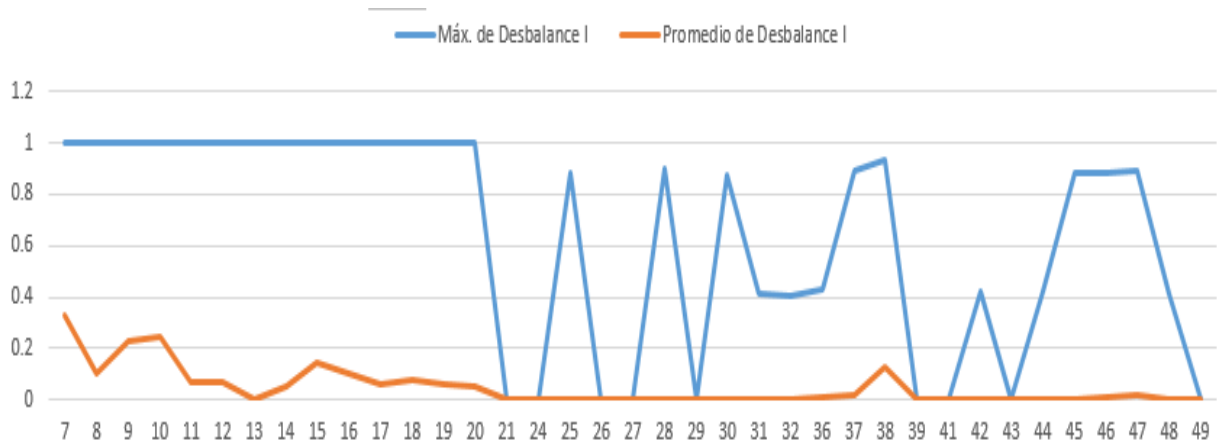


Figura 57. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero AA1.

En la Figura 53 se observa el máximo desbalance de las cargas fijas que se encuentran conectadas al tablero AA2, que adicionalmente tiene un uso más continuo que las cargas del tablero AA1.

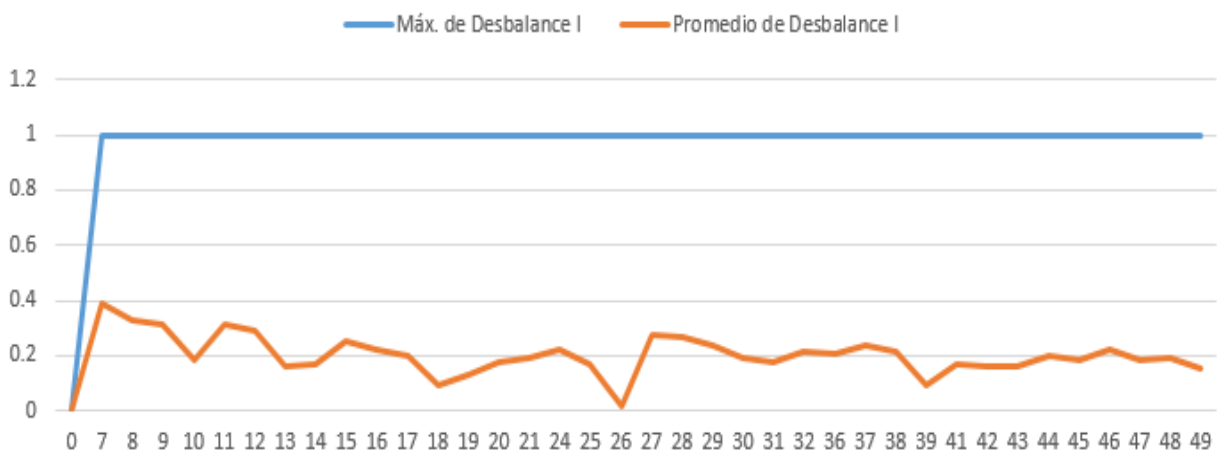


Figura 58. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero AA2.

Los tableros conectados al tablero general mantienen un desbalance de corriente máximo del 1,5 con valores promedio para la mayoría de los tableros por debajo del 0,5; a excepción del tablero TP3 el cual tiene un valor promedio de desbalance por encima de 1.

El tablero EME contiene cargas sensibles de la edificación las cuales son imprescindibles para el buen funcionamiento y seguridad.

El tablero TP5 contiene múltiples cargas de diferentes comportamientos, en su mayoría cargas no lineales tales como computadores, iluminación y elementos de cafetería. En la Figura 54 se observa el comportamiento constante del desbalance de corriente referido a estas cargas.

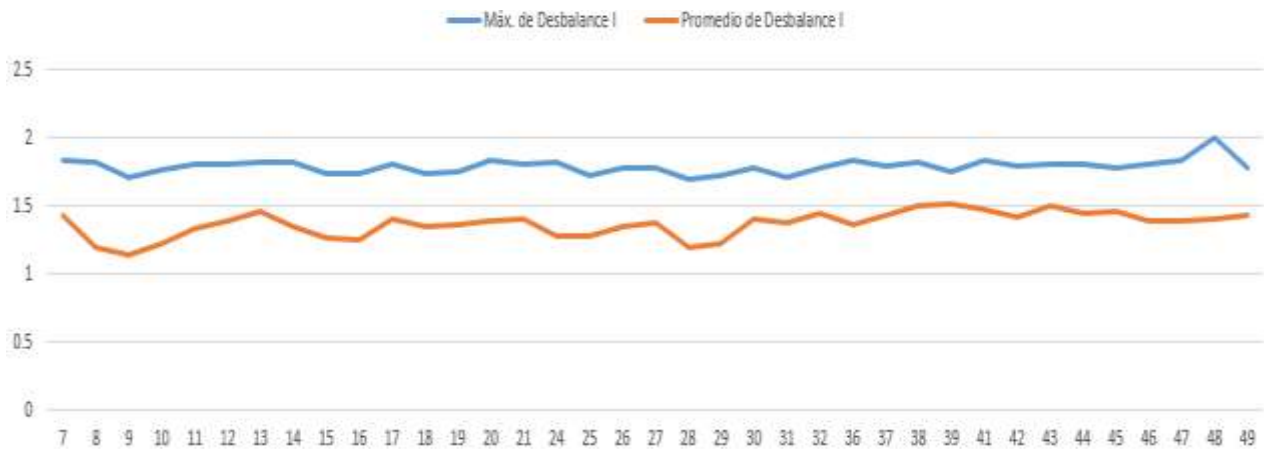


Figura 59. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TP5.

El tablero TBH alimenta las bombas, las cuales son cargas trifásicas, por lo cual se observa un valor bajo del desbalance de corriente. Adicionalmente, a partir de la semana 38 debido a mantenimiento se desconectaron estas bombas, como se observa en la Figura 55.

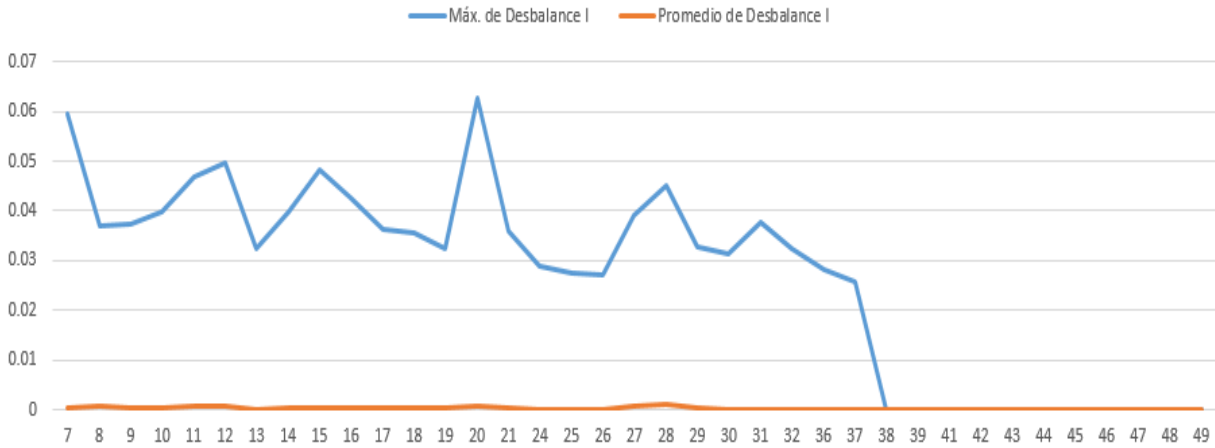


Figura 60. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TBH.

En la Figura 56 se muestra que el tablero TRP5 (que contiene cargas reguladas del piso 5). Se observa un desbalance alto e irregular, debido a las diferentes cargas monofásicas que se conectan en momentos diferentes.

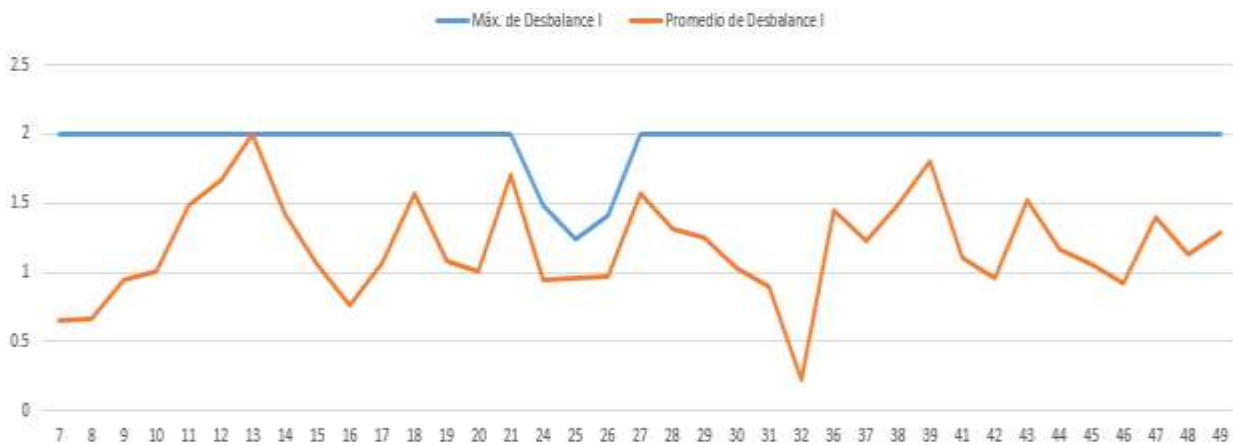


Figura 61. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero TRP5

Con relación al desbalance de corriente del tablero ILU EME, en la Figura 57 se observa también un desbalance de las corrientes elevado.

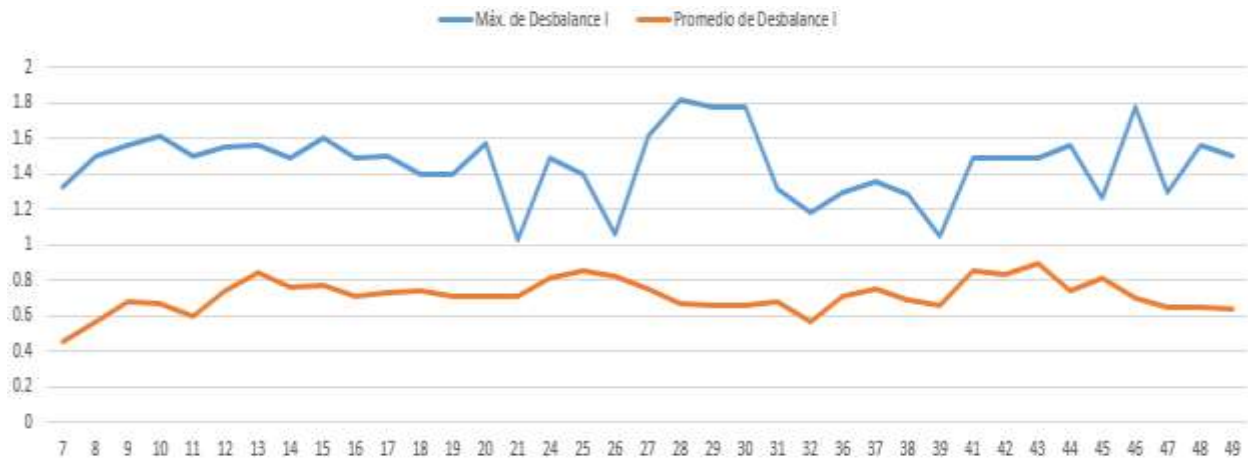


Figura 62. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero ILU EME

Con relación al desbalance de las corrientes monitorizadas en el tablero RACK (al cual está conectado una carga importante de la edificación), se presenta un desequilibrio importante, que la calidad de la energía eléctrica. En la Figura 58 se muestra que los valores máximos del desbalance son de 1,4.

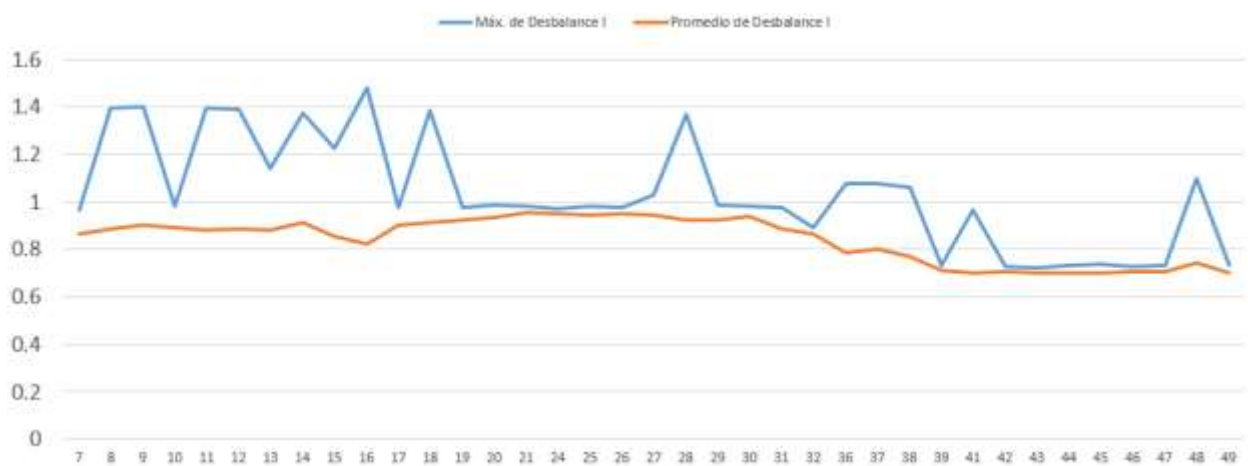


Figura 63. Desbalance de corriente máximo y promedio semanal del tablero RACK

El desbalance referido al tablero EME y los tableros derivados de este es variado. En el caso del tablero TP5 los valores promedios están entre 1 y 1,5. En el tablero TRp5 entre 0,5 y 2 p. u. Por otra parte, en los tableros ILU EME y TBH los valores de desbalance están cercanos a 0,6. En el caso del tablero RACK los valores promedio están entre 0,6 y 1 con valores máximos de hasta 1,4; los cuales impactan en la calidad de la energía eléctrica del edificio, debido a que es el tablero con la mayor demanda de la edificación.

4.3 Histogramas de los valores de distorsión armónica total de corriente (THDI) y desbalance de la corriente.

A continuación, en este numeral se van a presentar una serie de figuras e histogramas de frecuencia de los valores obtenidos relacionados con la distorsión armónica total y el desbalance de la magnitud de la corriente de los tableros de conexión de los diferentes circuitos del edificio.

4.3.1 Histogramas del THDI de los tableros de conexión del edificio. Los histogramas de frecuencia de los valores obtenidos relacionados con la distorsión armónica total de la corriente de los tableros de conexión de los diferentes circuitos del edificio se muestran en las figuras 59 y 60.



Figura 64. Histogramas de frecuencia Tableros TP1, TP2,TP3,TP4,TP5.



Figura 65. Histogramas de frecuencia, tableros TRP5, RACK, ILU EME, AA1, AA2, TBH.

4.3.2 Evolución del THDI de los tableros de conexión del edificio. Las figuras 61-82 describen la distorsión armónica total de la corriente en los tableros de conexión del edificio de Ingeniería Eléctrica. Este parámetro tiene un comportamiento diverso, dependiendo del tipo de cargas que estén instaladas en los tableros. Es así como en los tableros donde están conectadas las bombas y los aires acondicionados el valor es bajo, mientras que en los tableros donde hay conexión de sistemas de iluminación, computadores, servidores, controladoras, etc., el valor de este parámetro es elevado. Otro aspecto a resaltar es que en algunos tableros donde las cargas están conectadas permanentemente, el valor permanece prácticamente constante, mientras que en los

tableros donde las cargas se conectan y desconectan durante el día, se presenta una diversidad de valores que cambian apreciablemente de unos valores a otros.



Figura 66. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 67. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TBH

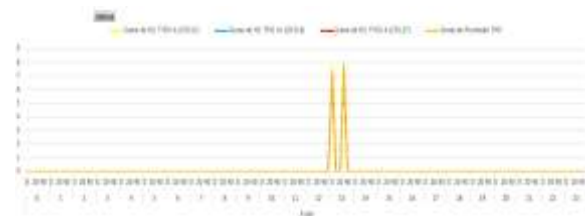


Figura 68. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 69. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO ILUM EME



Figura 70. Distorsión armónica total por fase, del día especificado.



Figura 71. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO AA1



Figura 72. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 73. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO AA2



Figura 74. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 75. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TP1



Figura 76. Distorsión armónica total por fase, día especificado.

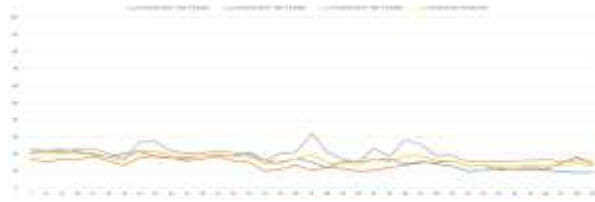


Figura 77. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TP2



Figura 78. Distorsión armónica total por fase, del día especificado.



Figura 79. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TP3



Figura 80. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 81. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TP4



Figura 82. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 83. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TP5

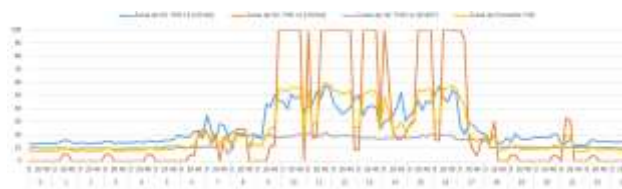


Figura 84. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 85. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

TABLERO TRP5



Figura 86. Distorsión armónica total por fase, día especificado.



Figura 87. Promedio por semana distorsión armónica total, tablero especificado semanal.

4.3.3 Evolución del desbalance de corriente de los tableros de conexión del edificio. Las figuras 83-93 describen el comportamiento del desbalance en la magnitud de la corriente máxima del sistema trifásico en cada uno de los tableros de conexión. Estas gráficas muestran el comportamiento eléctrico de las cargas que atiende cada tablero. Por ejemplo, si se compara el tablero TP4 con el tablero TRP5, uno de los dos contiene un sistema desequilibrado con un comportamiento inusual en el tiempo, pues presenta valores máximos de desbalance en corriente en el caso de TP4. Estas características permiten inferir en cual tablero se deben realizar

intervenciones para reducir el desbalance de cargas en las fases, que pueden generar un funcionamiento inadecuado del sistema eléctrico con el tiempo.

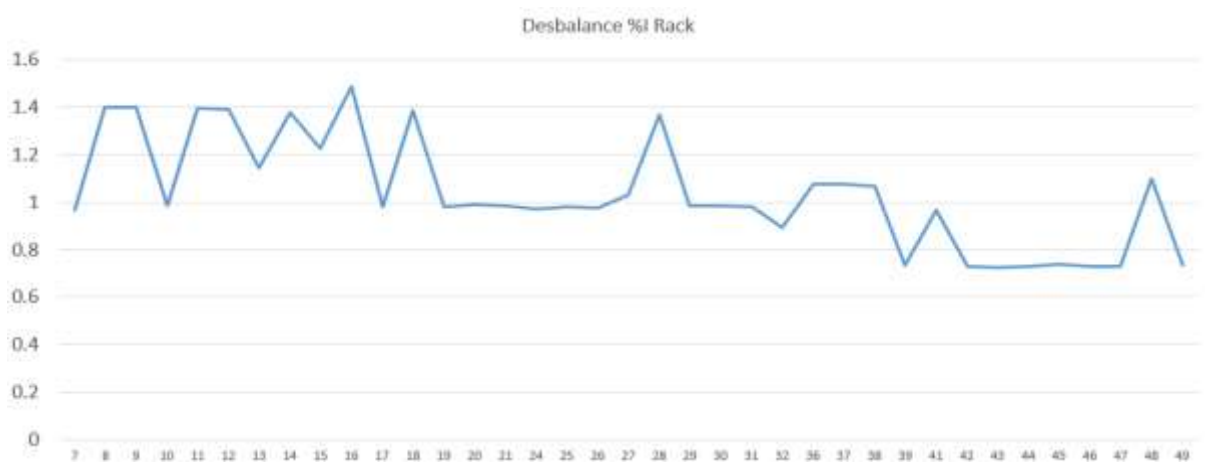


Figura 88. Desbalance de corriente maximo semanal del tablero rack.

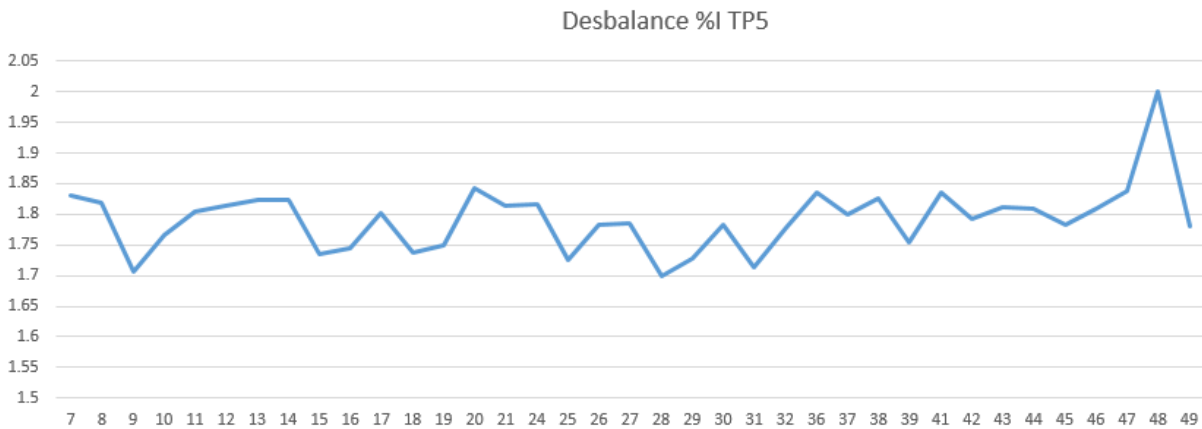


Figura 89. Desbalance maximo semanal del tablero TP5

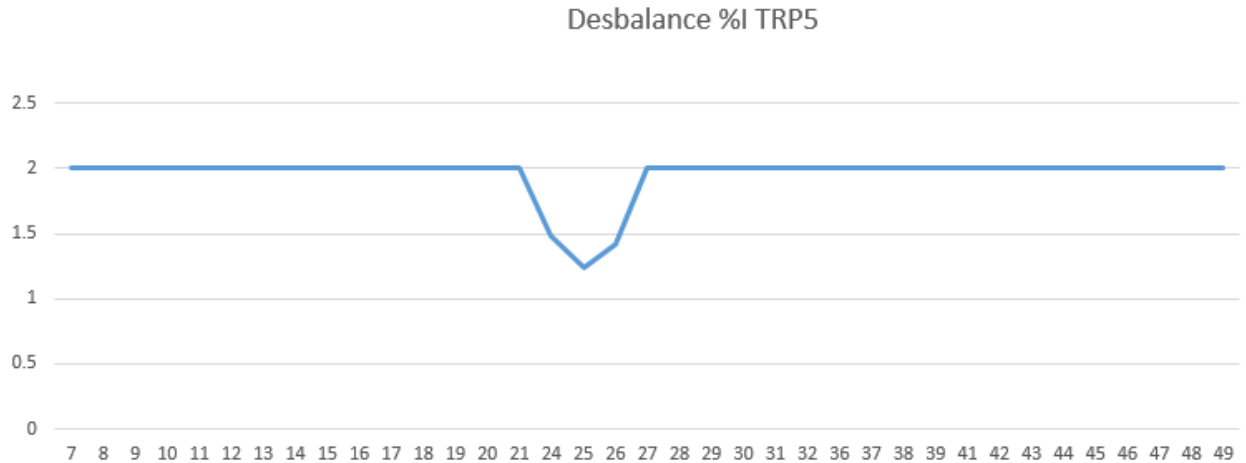


Figura 90. Desbalance maximo semanal del tablero TRP5.

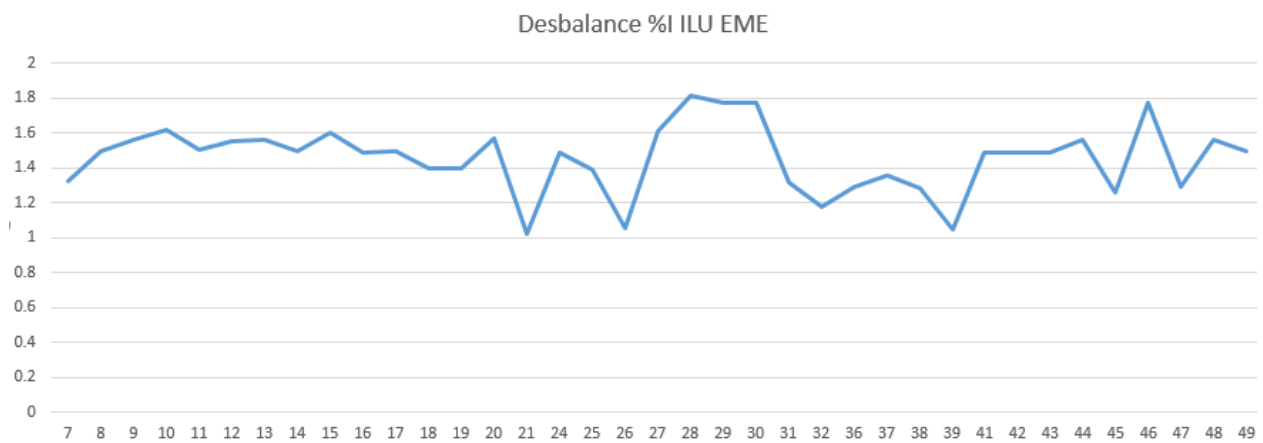


Figura 91. Desbalance maximo semanal del tablero ILU EME.

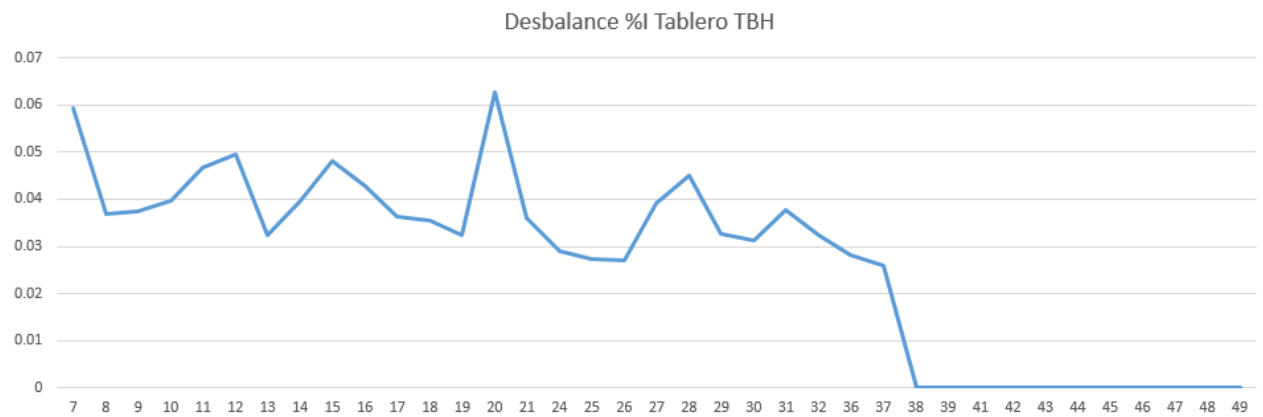


Figura 92. Desbalance maximo semanal del tablero TBH.

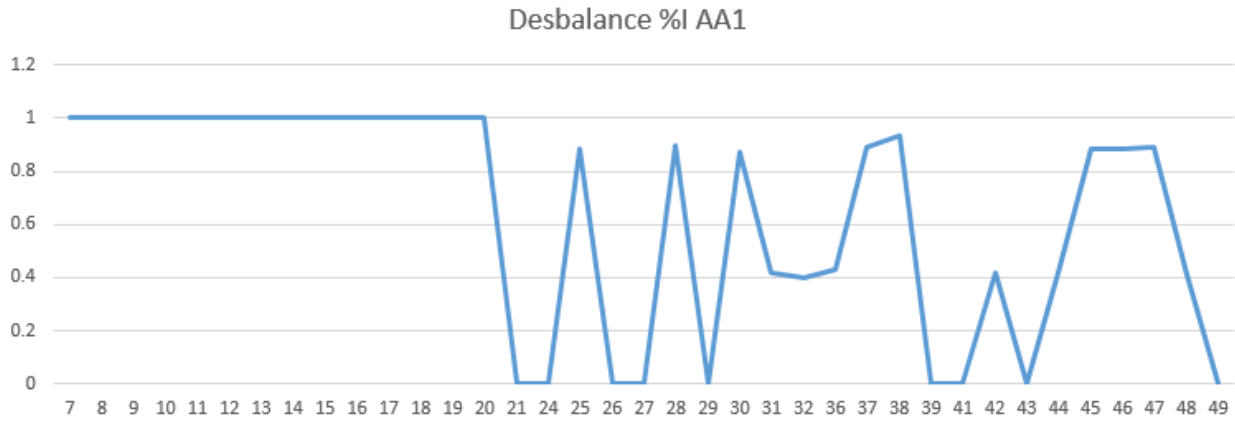


Figura 93. Desbalance maximo semanal del tablero AA1.

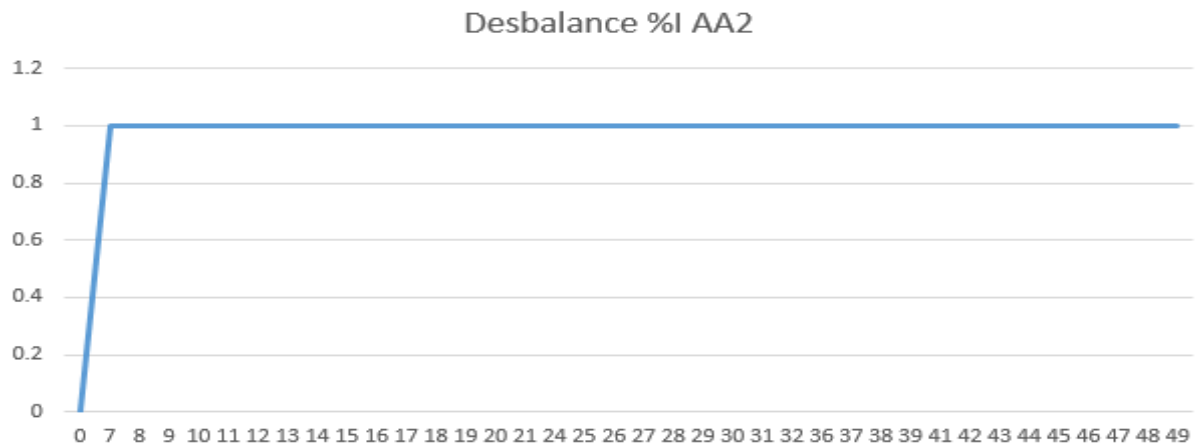


Figura 94. Desbalance maximo semanal del tablero AA2.

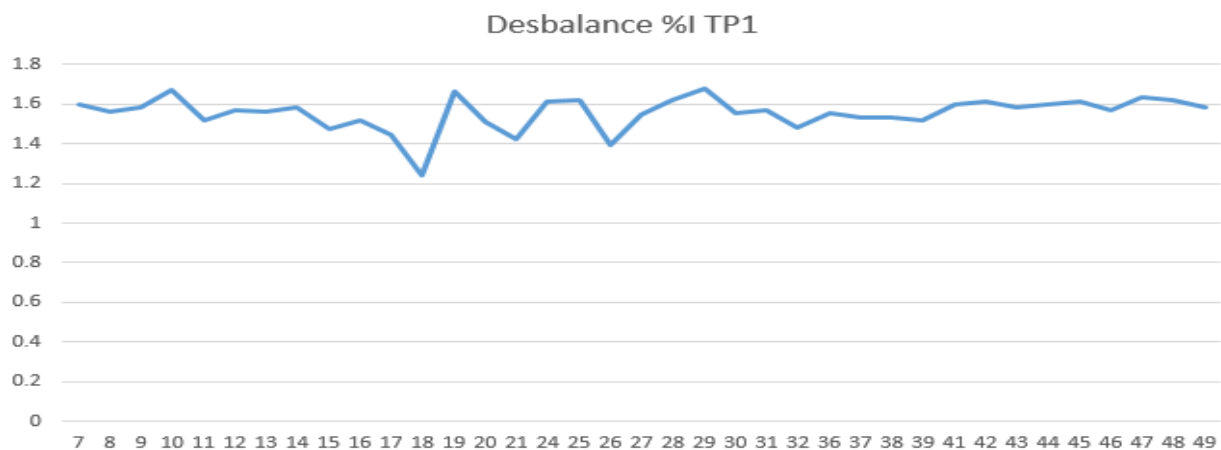


Figura 95. Desbalance maximo semanal del tablero TP1.

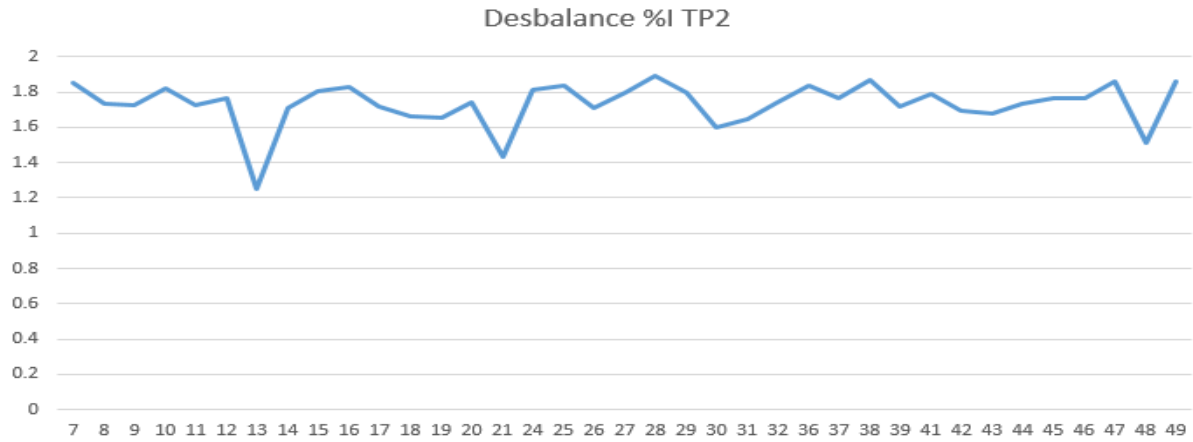


Figura 96. Desbalance maximo semanal del tablero TP2.

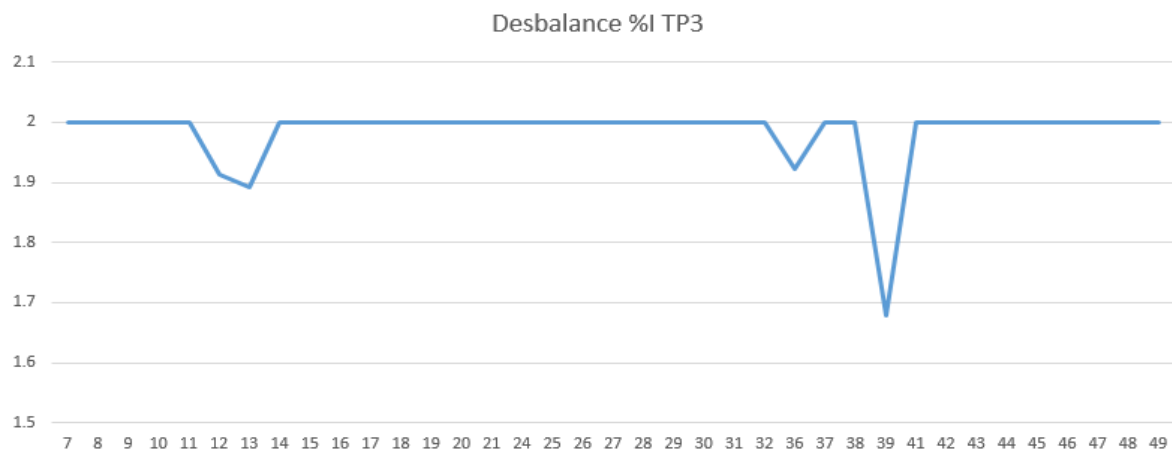


Figura 97. Desbalance maximo semanal del tablero TP3.

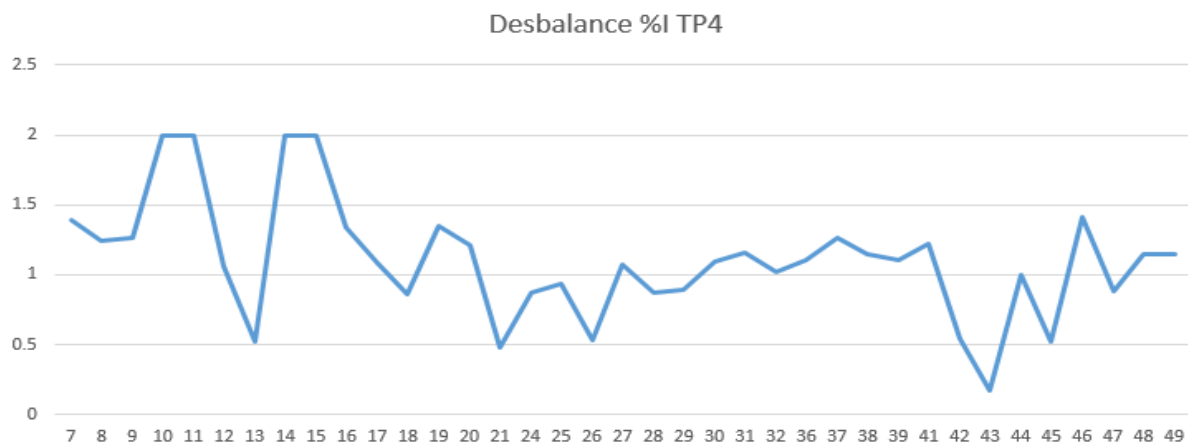


Figura 98. Desbalance maximo semanal del tablero TP4

5. Conclusiones

En este apartado se presentan las conclusiones más relevantes del trabajo realizado:

Los resultados obtenidos permiten monitorizar los eventos en el sistema eléctrico de la edificación y el comportamiento de los diferentes tableros de conexión las cargas, para examinar los circuitos con ineficiencias de la edificación con respecto al uso de la energía eléctrica tanto en calidad como en uso racional y eficiente. Adicionalmente, se pueden relacionar estos eventos con el tiempo en el que ocurren dentro del calendario académico y de funcionamiento de la Universidad Industrial de Santander.

Se denota la influencia de algunas cargas eléctrica con una gran afectación en la demanda de la edificación y que se observan reflejadas en las gráficas de carga de los tableros específicos, como lo son los aires acondicionados centrales y de los CCTV, o el tablero RACK cuyas cargas eléctricas corresponden al 49% de la demanda de la edificación.

La energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico suple un porcentaje de la energía de la edificación según el horario de uso. En los gráficos de potencia eléctrica se observa su impacto en la edificación. Adicionalmente, el sistema de ahorro de energía integrado en el edificio optimiza la administración de los dispositivos de iluminación, aires acondicionados y accesos a utilizar controlando su uso de acuerdo con las necesidades de utilización de las aulas y oficinas de la edificación.

El uso de herramientas para la administración y organización de los datos obtenidos como lo es Excel, es necesario para la recopilación de los resultados obtenidos, adicionalmente simplifica el análisis y la observación de los datos.

Se identifican unas inadecuadas condiciones de uso de la edificación como el desequilibrio de las magnitudes de las corrientes de los tableros de aires acondicionados, del RACK, los cuales afectan el buen uso de la energía eléctrica de la edificación.

Se denota en un 100% el incremento en la demanda de la edificación con la instalación de los aires acondicionados del tablero de los RACK, su comportamiento energético requiere una especial atención para optimizar el consumo dentro de la edificación, teniendo en cuenta que estas cargas corresponden al 50% de la demanda de energía eléctrica de la edificación.

La realización de este trabajo ha contribuido en mi formación como ingeniero electricista adquiriendo destrezas en la monitorización y diagnóstico de sistemas eléctricos mediante la interacción con los mismos, además adquiriendo los datos y realizando el manejo para el análisis posterior.

La información recopilada mediante la monitorización y organizada en este trabajo es el primer paso para escalar el procedimiento con los datos de otros dispositivos instalados, adicionalmente con el análisis y la identificación de fenómenos eléctricos que impactan en la calidad de la energía en la edificación. El siguiente paso será identificar estos fenómenos presentados en la edificación.

Se recomienda continuar con la monitorización de las variables eléctricas del edificio, introduciendo otros parámetros que permitan realizar análisis tanto del impacto del desbalance de las cargas conectadas como de las distorsiones de las señales de corriente especialmente para establecer su impacto en la calidad de la energía eléctrica y en el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Referencias Bibliográficas

AcuRev-2000-Multi-Phase-Tenants-Meter-User-Manual-2010E2210

Catedra UIS Libre, enero de 2013 Nro. 154.

Apéndices

Apéndice A. Dispositivos instalados

A continuación, se relacionan los dispositivos que conforman el sistema de medición de variables eléctricas del edificio de ingeniería eléctrica.

ACUREV 2020

Medidor de energía consumida y de parámetros de 18 circuitos monofásicos o 6 circuitos trifásicos. Cuenta con módulos adaptables para ampliar sus funciones. Tiene una memoria de 8 Mb para el almacenamiento de múltiples variables.



Figura A1. AcuRev con dos módulos instalados.



Figura A2. AcuRev con un módulo instalado.

Los dispositivos se encuentran conectados como muestra la Figura A3.

EM:

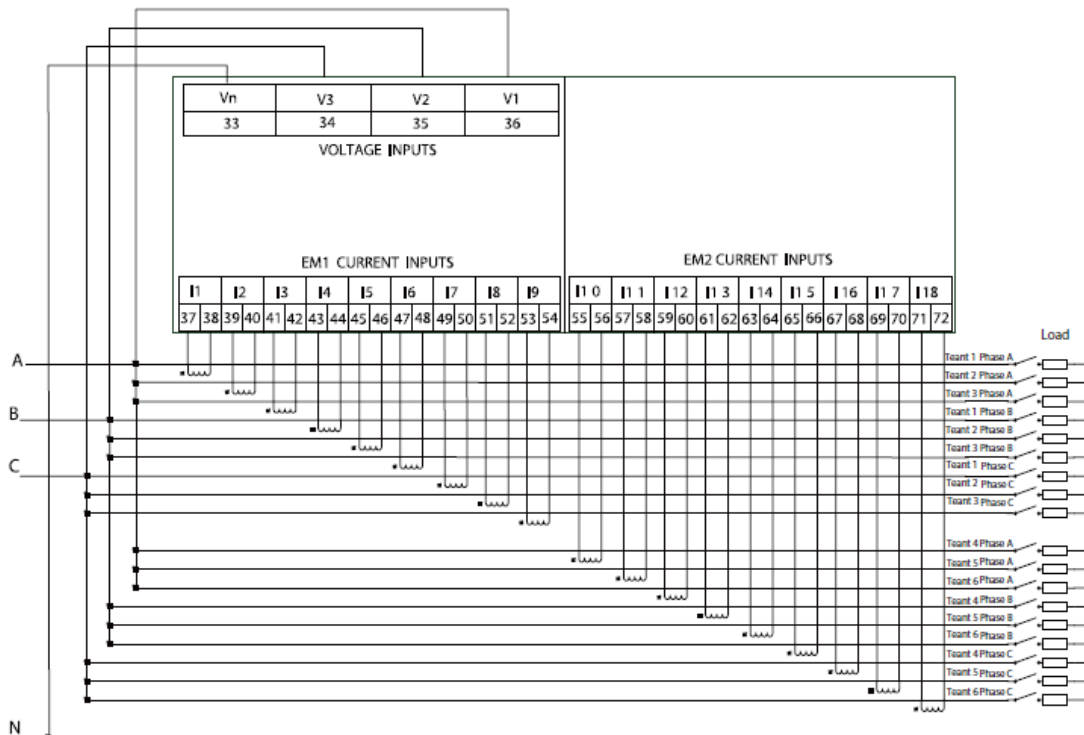


Figura A3. Conexión módulo EM

tomada de AcuRev-2000-Multi-Phase-Tenants-Meter-User-Manual-2010E2210.

En el caso del dispositivo cada “EM current inputs” corresponde a un transformador de corriente o CT, el cual es designado en la Figura 11 como “current input”.

En esta configuración de conexión aplica para los tableros del sótano, AcuRev 2 y 3, los cuales actúan como alimentadores de los circuitos por piso y del tablero de servicio. Por lo cual, cada AcuRev atiende un tablero y sus respectivas acometidas.

El AcuRev 2020 el dispositivo tiene varias limitantes en el almacenamiento de datos, debido a su memoria, tiene una limitada disposición de almacenamiento en función de cuantas variables se programen y su tiempo de muestreo.

A continuación, la extracción de datos del mismo se obtiene un archivo “.txt”, el cual se abre con ayuda de Microsoft Excel y este se convierte en tabla de múltiples columnas, pues se encontrarán los datos agrupados en la primera columna. Seguidamente se hallan los campos requeridos, y los registros organizados en una tabla, esta toma de datos se realizan aproximadamente cada 3 días, disminuyendo así el riesgo de perder datos.

Posteriormente se organizan los archivos por cada AcuRev y por periodos de tiempo específicos, solapando los periodos de tiempo para obtener así un único archivo con toda la información anual emitida por el AcuRev.

FLUKE 1730

Registrador trifásico de consumo eléctrico con diversas aplicaciones para el desarrollo de estudios de carga, registro de potencia y energía.

Este equipo fue utilizado para la medición de variables del tablero general debido a que tiene una ventaja particular, pues sus accesorios para instalar en las barras del tablero principal se facilitan la lectura de corriente sobre el barraje de conducción gracias a sus puntas iFlex. Cuenta con periodo de registro de 1 segundo a 30 minutos, descarga vía USB con fácil transferencia, cuenta con 4 entradas de tensión y 3 de corriente, 3 fases y un neutro. Tiene una clasificación 600

V CAT IV/1000 V CAT III, batería con 4 horas de autonomía y capacidad de detección de armónicos de corriente y tensión para distorsión armónica total.



Figura A4. Fluke 1730.

En el caso del Fluke este dispositivo cuenta con las mejores condiciones para monitorizar las variables requeridas debido a la ventaja de su amplia memoria, contando con 4 entradas de tensión y 3 de corriente. Las variables de medición son tensión, corriente, THD en tensión, THD en corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente.

Cuentan con sonda de corriente flexible iFlex, la cual permite fácil conexión al alimentador principal. Adicionalmente conexión USB para fácil extracción de datos, los cuales pueden extraerse con una intensidad de 20 sesiones de registro de 10 semanas con intervalo de 10 minutos. Para efectos particulares se usó muestreo con una frecuencia de 10 minutos.

En el caso de la extracción de datos basta con conectar un computador con el software al Fluke el cual cuenta con puerto mini-USB y con el software Fluke Energy Analyze se extrae el archivo Excel para su manejo adecuado.

Este archivo extraído en formato normalmente txt, contiene los registros previamente configurados para su manejo y tratamiento.

ACUVIM IIR

Es un medidor multifunción de potencia y energía para monitoreo y control de sistemas de distribución. Cuenta con las siguientes características:

- **Medición:** Voltaje de línea y fase, corriente de fase, potencia activa y reactiva, potencia aparente, frecuencia, factor de potencia, energía activa y reactiva, energía aparente, demanda.
- **Monitoreo:** Monitoreo de calidad de potencia, armónicos de tensión, armónicos de corriente, factor de cresta de tensión, factor de corriente, factor de tensión desbalanceada, factor de corriente desbalanceada.



Figura A5. Acuvim IIR

Para el caso puntual de este trabajo, se tomaron los datos obtenidos de los dispositivos AcuRev 2020, instalados en el edificio durante un periodo de un año se cita el dispositivo Acuvim debido a su disponibilidad.

Apéndice B. Curvas Generales

Ver documentos adjuntos en CD.

Apéndice C. Curvas por tablero potencia y factor potencia

Ver documentos adjuntos en CD.

Apéndice D. Tablas Dinámicas

Ver archivos adjuntos en el CD.