



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA
DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ZONA
CULTURAL UNIVERSITARIA DE LA UNAM**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico y Electrónico

P R E S E N T A:

RAÚL VIZCAÍNO TORRES

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. IVÁN URZÚA ROSAS



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Presentación



PRESENTACIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el Departamento de Ingeniería en Energía y en el Área de Proyectos de Ahorro de Energía (PAE), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México;
bajo la asesoría del M. en I. Iván Urzúa Rosas.



Dedicatorias



DEDICATORIAS

“La igualdad no existe, ni puede existir. Es mentira que todos podamos ser iguales, hay que darle a cada quien el lugar que le corresponde.”

José Doroteo Arango Arámbula. (Pancho Villa, El Centauro del Norte).

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

“Al decir educación me refiero a una enseñanza directa de parte de los que saben algo, a favor de los que nada saben, me refiero a un enseñanza que sirva para aumentar la capacidad productora de cada mano que trabaja y la potencia de cada cerebro que piensa.”

Don José María Albino Vasconcelos.

A mi Madre. María del Carmen Torres Ledesma.

“Yo soy como soy y tú eres como eres, construyamos un mundo dónde yo pueda ser sin dejar de ser yo, dónde tú puedas ser sin dejar de ser tú, y dónde ni yo ni tú obliguemos al otro a ser como yo o como tú.”

Subcomandante Marcos. (Ejército Zapatista de Liberación Nacional).



Dedicatorias



“El éxito no es hacer bien o muy bien las cosas y tener el reconocimiento de los demás. No es una opinión exterior, es un estado interior. Es la armonía del alma y de sus emociones, que necesita del amor, la familia, la amistad, la autenticidad, la integridad.”

Carlos Slim.

“Gracias por creer en mí, cuándo nadie me dio una oportunidad de demostrar que podía hacer bien las cosas, que en realidad podía cambiar. Tú siempre estuviste ahí para decirme: Tú puedes cabrón, ¿En dónde está ese niño inteligente y fuerte que siempre has demostrado ser?, ¡levántate y chíngale! que nada en esta vida es gratis.”

Raúl Vizcaíno Torres.

“Educar no es dar carrera para vivir, sino templar el alma para las dificultades de la vida.”

Pitágoras.

“Si yo pudiera darte una cosa en la vida, me gustaría darte la capacidad de verte a ti mismo a través de mis ojos. Sólo entonces, te darás cuenta de lo especial que eres para mí.”

Frida Kahlo.



Dedicatorias



A mi Padre. Raúl Simón Vizcaíno Vargas.

“Puesto que yo soy imperfecto y necesito la tolerancia y la bondad de los demás, también he de tolerar los defectos del mundo, hasta que pueda encontrar el secreto que me permita ponerles remedio.”

Mahatma Gandhi.

“La manera como se presentan las cosas, no es la manera como son. Y si las cosas fueran como se presentan, la ciencia entera sobraría.”

Karl Marx.

“Educar no es dar carrera para vivir, sino temprar el alma para las dificultades de la vida.”

Pitágoras.

“Yo no soy católico, ni protestante, ni ateo. Soy librepensador.”

José Doroteo Arango Arámbula. (Pancho Villa, El Centauro del Norte).

“Si yo pudiera darte una cosa en la vida, me gustaría darte la capacidad de verte a ti mismo a través de mis ojos. Sólo entonces, te darás cuenta de lo especial que eres para mí.”

Frida Kahlo.



Dedicatorias



A mis Hermanos: Eduardo y Armando Vizcaíno Torres.

“El individuo ha luchado siempre para no ser absorbido por la tribu. Si lo intentas, a menudo estarás solo, y a veces asustado. Pero ningún precio es demasiado alto por el privilegio de ser uno mismo.”

Friedrich Wilhelm Nietzsche.

“La familia, la sociedad, la cultura, nos pone en un molde. Cuando nos salimos del molde, empieza la curación y, no solo eso. Hay que hacer algo que nunca haya hecho uno y mientras más difícil, mejor.”

Alejandro Jodorowsky.

“Si yo pudiera darte una cosa en la vida, me gustaría darte la capacidad de verte a ti mismo a través de mis ojos. Sólo entonces, te darás cuenta de lo especial que eres para mí.”

Frida Kahlo.

Al Amor de mi Vida. Ingrid Palma Martínez.

“Si quieres a alguien por su belleza, no es amor, es deseo. Si quieres a alguien por su inteligencia, no es amor, es admiración. Si quieres a alguien porque es rico, no es amor, es interés. Si quieres a alguien y no sabes porque... eso es amor.”

Proverbio Chinó.

“Sueña y serás libre en espíritu, lucha y serás libre en vida.”

Ernesto Guevara de la Serna. (Comandante Che Guevara).



Dedicatorias



“El amor es un crimen que no puede realizarse sin un cómplice.”

Charles Baudelaire.

“Escoge una mujer de la cual puedas decir: hubiera podido elegirla más bella, pero no mejor.”

Pitágoras.

“Aunque haya dicho “te quiero” a muchas y haya tenido citas y besado a otras, en el fondo sólo te he amado a ti...”

Frida Kahlo.

A mi Familia.

“Te quiero... gracias porque vives, porque ayer me dejaste tocar tu luz más íntima y porque dijiste con tu voz y tus ojos lo que yo esperaba toda mi vida.”

Frida Kahlo.

A mis Profesores.

“He logrado que los alumnos y los profesores estén contentos en canutillo: a los chamacos, proporcionándoles todo lo necesario para que se instruyan; a los maestros, respetándolos como yo los respeto y pagándoles con puntualidad.”

José Doroteo Arango Arámbula. (Pancho Villa, El Centauro del Norte).



Dedicatorias



“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”

Albert Einstein.

A mis Amigos.

“En general, los hombres juzgan más por los ojos que por la inteligencia, pues todos pueden ver, pero pocos comprenden lo que ven.”

Nicolás Maquiavelo.

“A veces prefiero hablar con obreros y albañiles que con esa gente estúpida que se hace llamar gente culta.”

Frida Kahlo.



Dedicatorias



A mí. Raúl Vizcaíno Torres.

“Solamente los anarquistas, sabrán que somos anarquistas y les aconsejaremos que no se llamen así para no asustar a los imbéciles.”

Ricardo Flores Magón.

“Yo solía pensar que era la persona más extraña en el mundo, pero luego pensé, hay mucha gente así en el mundo, tiene que haber alguien como yo, que se sienta bizarro y dañado de la misma forma en que yo me siento. Me la imagino, e imagino que ella también debe estar por ahí pensando en mí. Bueno, yo espero que si tú estás por ahí y lees esto, sepas que sí, es verdad, yo estoy aquí, soy tan extraño como tú.”

Frida Kahlo.

“Tal vez sea la propia simplicidad del asunto lo que nos conduce al error.”

Edgar Allan Poe.

"Cuando vives para la aceptación de los demás, estás muerto. Yo no vivo pensando en cómo me recordaran, ni me interesa el qué dirán, solo soy, quien quiero ser.

Yo solo soy yo y dejo ser a los demás, no me impidas ser quien soy, porque en ese momento mi yo, te abrumará.”

Raúl Vizcaíno Torres.



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	9
ALCANCES Y LIMITACIONES	10
1.- CALIDAD DE LA ENERGÍA	13
1.1.- Repercusiones en la calidad de energía debido a las interrupciones.	14
1.2.- Fallas atribuidas al consumidor	15
1.2.1.- Variaciones de tensión	15
1.2.2.- Caída de Tensión (Sags)	16
1.2.3.- Aumentos de tensión (Swell)	18
1.2.4.- Sobretensiones transitorias	20
1.2.5.- El flicker o parpadeo (P_{ST} y P_{LT})	22
1.3.- Desbalance en la tensión y la corriente	23
1.4.- Sistema de puesta a tierra	24
1.5.- Armónicas	26
1.6.- Factor K	34
1.7.- Porcentaje de Utilización	37
1.8.- Factor de Potencia	38
1.9.- Factor de Cresta	39
2.- CALIDAD DE LA ENERGÍA DE LA ZONA CULTURAL UNIVERSITARIA: CASOS DE ESTUDIO	41
2.1.- Porcentaje de utilización	46
2.2.- Impedancia relativa	46
2.3.- Desbalance en corriente	47
2.4.- Desbalance en tensión	48
2.5.- Factor de potencia	49
2.6.- Indicador de variaciones de tensión de corto plazo (P_{ST})	50
2.7.- Indicador de variaciones de tensión de largo plazo (P_{LT})	50



Contenido



2.8.- Factor de Cresta	51
2.9.- Factor “K”	52
2.10.- Distorsión armónica total de demanda (DATD)	53
2.11.- Distorsión armónica total de tensión (DATT)	54
CONCLUSIÓN	69
CITAS	72
Citas bibliográficas	72
Citas electrónicas	75
Normas	76
APÉNDICE	79
ANEXO	98



CONTENIDO DE TABLAS

Número		Página
1.1	Clasificación de las Caídas de Tensión.	17
1.2	Clasificación de los Aumentos de Tensión.	18
1.3	Clasificación de los Impulsos.	21
1.4	Clasificación de los Oscilatorios.	22
1.5	Desbalance en la Tensión y la Corriente.	24
2.1	Especificaciones Técnicas de los Componentes Eléctricos de la Subestación del Museo de las Ciencias UNIVERSUM.	43
2.2	Características de los Transformadores que Conforman la Red Actual de la ZCU.	56
2.3	Cálculo de la Corriente de Corto Circuito (I_{cc}) de los Transformadores de las Dependencias de la ZCU.	58
2.4	Cálculo de la Impedancia Relativa y Evaluación del Desbalance Máximo Permitido en la Corriente de los Transformadores de la ZCU.	59
2.5	Factor de Potencia y Evaluación del Desbalance Máximo Permitido en la Tensión de los Transformadores de la ZCU.	60
2.6	Evaluación de los P_{ST} y P_{LT} de las Dependencias de la ZCU.	61
2.7	Evaluación del Factor de Cresta y del Factor “K” de los Transformadores de la ZCU.	63
2.8	Evaluación de la Distorsión Armónica Máxima Permitida en la Corriente de los Transformadores de la ZCU.	65
2.9	Evaluación de la Distorsión Armónica Máxima Permitida en la Tensión de los Transformadores de la ZCU.	67
I	Evaluación del Factor de Rateo y Capacidad Propuesta de los Bancos de Capacitores de la ZCU.	99



Contenido



CONTENIDO DE FIGURAS

Número		Página
1	Toma Aérea de la Zona Cultural Universitaria.	1
2	Diagrama Unifilar de la Zona Cultural Universitaria de la UNAM.	4
3	Estructura de Baja Tensión con Seccionamiento.	6
4	Estructura en Anillo Abierto con Doble Alimentación.	8
1.1	Caída de Tensión.	17
1.2	Aumento de Tensión.	19
1.3	Distorsión Armónica.	26
1.4	Onda Fundamental.	29
1.5	Descomposición en Componentes Armónicas.	30
1.6	Onda Periódica Real Distorsionada.	30
2.1	Diagrama General de Trabajo.	41
2.2	Triángulo de potencias.	49
2.3	Función de una onda senoidal.	51
A	Analizador de Calidad de Potencia Trifásico.	81
B	Display del Analizador de Calidad de Potencia Trifásico.	85



Introducción y Antecedentes



INTRODUCCIÓN

La Zona Cultural Universitaria (ZCU) pertenece al Campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), localizado en la Ciudad de México. La ZCU se ubica al sur de Ciudad Universitaria y está acotada por Av. Insurgentes, Av. Antonio Delfín Madrigal y Av. del Imán. En la figura 1 se puede apreciar una toma aérea de 2014 de las 273.3 hectáreas que lo conforman, esta área se observa acotada en amarillo.



Figura 1. Toma Aérea de la Zona Cultural Universitaria.

El trazo geométrico del sitio arquitectónico se basa en un eje general, segmento rectilíneo; cada uno de sus extremos agrupa diferentes edificios. En la parte norte se encuentra la Biblioteca Nacional; hacia el sur, se llega a la plaza



Introducción y Antecedentes



que une la Sala Nezahualcóyotl con los teatros, los recintos de danza, de música de cámara y de exhibición cinematográfica.

La ZCU es un espacio que cuenta con una amplia gama de actividades formativas por lo que, quien visita el ZCU acude a los eventos culturales o presentaciones artísticas.



Introducción y Antecedentes



ANTECEDENTES

La ZCU está conformada por 32 dependencias, las cuales se enlistan en la tabla 2.2; para fines del presente estudio únicamente se consideraron las primeras 22 dependencias, por razones que se justifican en la misma tabla. Cabe destacar que el Instituto de Investigaciones Sociales, el Instituto de Investigaciones Filológicas y la Coordinación de Humanidades están conectados al mismo transformador, por lo que los parámetros obtenidos serán los mismos para estas tres dependencias.

La ZCU se encuentra alimentada por la subestación general 3 (S.G.3), con un arreglo radial interconectado y subterráneo. Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los sistemas de distribución aéreos, sin embargo cuando se produce una falla, es más difícil localizarla y su reparación conlleva más tiempo. En este tipo de sistemas de distribución se instalan seccionadores para conectar los circuitos secundarios, además, en caso de ocurrir una falla o desconexión de un transformador, se pueden conectar los circuitos secundarios a un transformador contiguo. En la figura 2 se muestra el diagrama unifilar de esta zona.



Introducción y Antecedentes

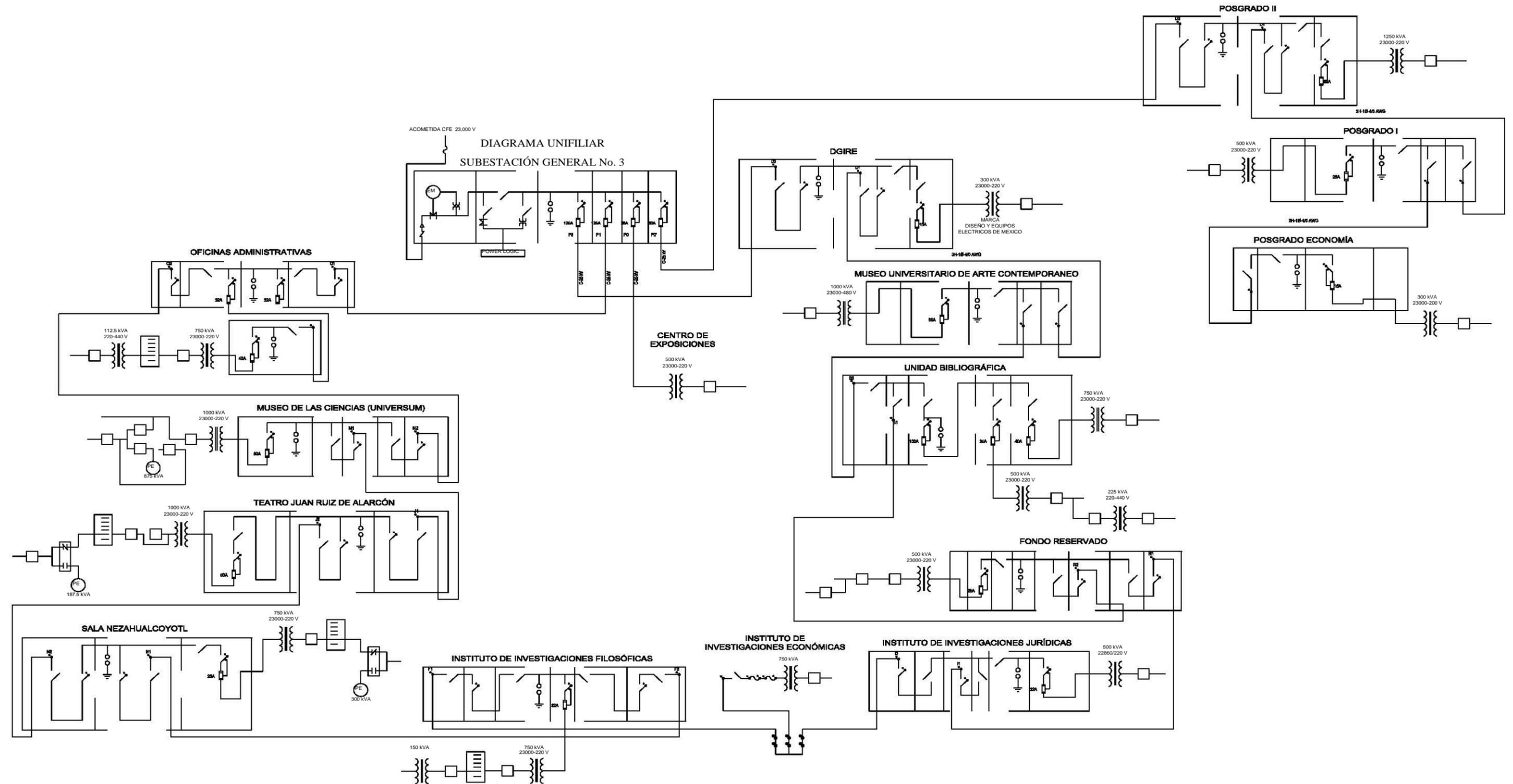


Figura 2. Diagrama Unifilar de la Zona Cultural Universitaria de la UNAM.



Introducción y Antecedentes



A continuación se describe la topología radial interconectada.

En esta red cada subestación alimenta zonas por separado, en este caso; una falla en un secundario afecta a todos los consumidores conectados a ese ramal, o una falla en la subestación afecta a todos los consumidores conectados a ésta. En este tipo de topología, es posible transferir por medio de equipos de seccionamiento, ya sea por falla, desbalance o simplemente por mantenimiento, parte o toda la carga alimentada por una S.E., a otra. La protección que se utiliza en esta red es con base en fusibles. En la figura 3 se muestra una estructura de este tipo.



Introducción y Antecedentes

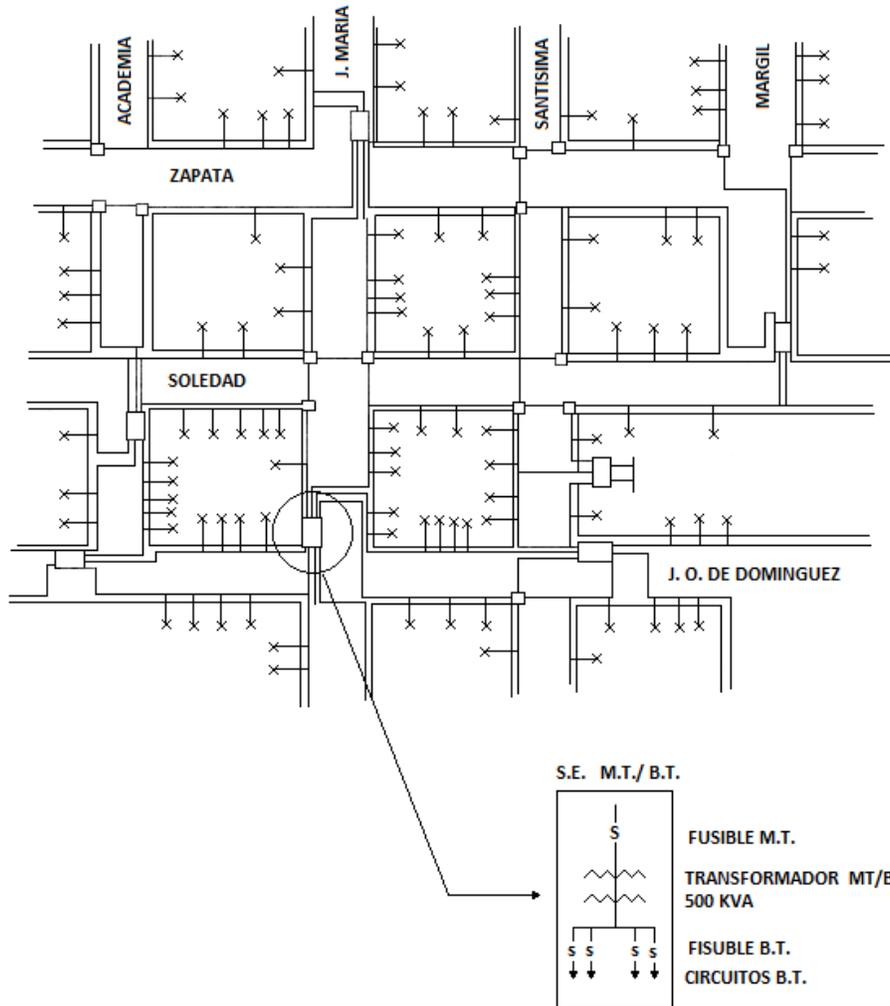


Figura 3. Estructura de Baja Tensión con Seccionamiento.



Introducción y Antecedentes



En un estudio previo, elaborado por Alfaro y Sánchez en el año 2015, se analizó y se propuso realizar el cambio de topología radial interconectada a topología en anillo abierto con doble alimentación.

En seguida se describe la topología en anillo abierto con doble alimentación.

Esta topología cuenta con más de una trayectoria entre la fuente o fuentes de alimentación y la carga, para proporcionar el servicio de energía eléctrica. Comienza en la subestación general y hace un “ciclo” por el área a abastecer y retorna al origen. Lo cual provoca que el área sea abastecida por ambos extremos, permitiendo aislar secciones en caso de alguna falla, desbalance o mantenimiento.

La diferencia que tiene la estructura en anillo abierto con doble alimentación de la estructura en anillo, es que la primera cuenta con un seccionador que se encuentra normalmente abierto, generalmente se ubica en el punto medio de las cargas a alimentar, es decir, que en ambos lados del seccionador existe la misma capacidad instalada. En la figura 4 se muestra un diagrama de la estructura en anillo abierto con doble alimentación.



Introducción y Antecedentes

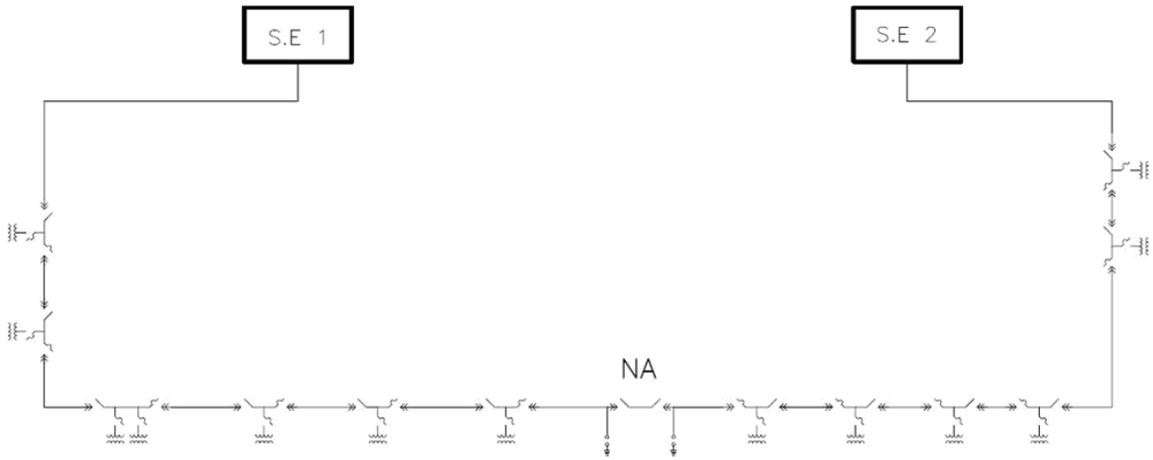


Figura 4. Estructura en Anillo Abierto con Doble Alimentación.



Justificación y Objetivos



JUSTIFICACIÓN

La ZCU de la UNAM es un complejo destinado a la generación y divulgación de la ciencia y el arte. Cuenta con un sistema de distribución subterráneo; con una topología de tipo radial interconectada operando a una tensión de 23,000 Volts [V]. La red eléctrica tiene una antigüedad mayor a 30 años, lo cual indica que ha cumplido con su vida útil y es necesario renovarla. Aunado a esto, la construcción de nuevos Institutos de Investigación y Centros Culturales, justifican, aun más, tal renovación. En este trabajo se presenta un estudio dirigido al análisis de la calidad de la energía del sistema eléctrico de la ZCU de la UNAM, con el propósito de brindar información que ayude al proyecto de la construcción de una nueva red de distribución eléctrica subterránea, que sea eficiente para las necesidades de la ZCU.

OBJETIVOS

Presentar un análisis de la calidad de la energía del sistema de distribución subterráneo de la ZCU, así como cuantificar los parámetros referentes a la calidad de las ondas de las tensiones y las corrientes de las diferentes dependencias que la conforman.

Suministrar un documento de consulta para la Dirección General de Conservación y Obras, que recopile la información de la evaluación de la calidad de la energía de la ZCU y sus recomendaciones de mejoramiento.



Alcances y Limitaciones



ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo pretende dar a conocer el estado actual de la calidad de la energía del sistema de distribución subterráneo de la ZCU.

La evaluación de la calidad de la energía y las recomendaciones para la mejora de ésta se realizaron con base en lo establecido en las normas: IEC - 61000 - 4 - 30: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 4-30: TESTING AND MEASUREMENT TECHNIQUES - POWER QUALITY MEASUREMENT METHODS. (2003), IEEE - 1159: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE FOR MONITORING ELECTRIC POWER QUALITY. (2009), IEC - 61000 - 2 - 2: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 2-2: ENVIRONMENT - COMPATIBILITY LEVELS FOR LOW - FREQUENCY CONDUCTED DISTURBANCES AND SIGNALLING IN PUBLIC LOW - VOLTAGE POWER SUPPLY SYSTEMS. (2002), IEC - 868: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). FLICKERMETER, FUNCTIONAL AND DESIGN SPECIFICATIONS. (1986), IEC - 61000 - 3 - 3: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 3-3: LIMITS - LIMITATION OF VOLTAGE CHANGES, VOLTAGE FLUCTUATIONS AND FLICKER IN PUBLIC LOW - VOLTAGE SUPPLY SYSTEMS, FOR EQUIPMENT WITH RATED CURRENT ≤ 16 A PER PHASE AND NOT SUBJECT TO CONDITIONAL CONNECTION. (2013), ANSI / IEEE C57.110: AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE FOR ESTABLISHING LIQUID - FILLED AND DRY - TYPE POWER AND



Alcances y Limitaciones



DISTRIBUTION TRANSFORMER CAPABILITY WHEN SUPPLYING NONSINUSOIDAL LOAD CURRENTS. (2008), MÉTODO UNDERWRITERS LABORATORIES (U.L.) 1561, STD - IEEE 519: STANDARDS - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE AND REQUIREMENTS FOR HARMONIC CONTROL IN ELECTRIC POWER SYSTEMS. (2014), NOM - 002 - SEDE - 1999: NORMA OFICIAL MEXICANA, “REQUISITOS DE SEGURIDAD Y EFICIENCIA ENERGETICA PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION” y la especificación CFE L0000 - 45: COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. DESVIACIONES PERMISIBLES EN LAS FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SUMINISTRO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. (2005); vigentes en México.

El análisis de la calidad de la energía que se realizó, no considera los siguientes eventos: caída de tensión (*sags*), aumentos de tensión (*swells*), sobretensiones transitorias y el sistema de puesta a tierra, ya que estos parámetros pertenecen a otro estudio, no obstante, adicionar en un futuro los parámetros anteriormente mencionados brindará un análisis completo de la calidad de la energía de la ZCU.

Además, las siguientes dependencias; Registro de alumnos, Centro de control, Publicaciones, Taller mecánico, Almacén de bajas patronato, Almacenes y servicios diversos y Polideportivo, no se incluyeron en este trabajo, ya que su análisis se realizó en un estudio anterior y el propósito de esta tesis es brindar información de las dependencias que carecían de este estudio. También Coordinación de posgrados I, Coordinación de posgrados II y CUEC, se descartaron, ya que las dos primeras no se encuentran al 100 % de su funcionamiento y el último está en construcción. Por lo que, el total de las dependencias analizadas fueron 22, de un total de 32.



Alcances y Limitaciones



Otro factor a considerar es el periodo de monitoreo, el cual fue de una semana, obteniendo valores cada 10 minutos. Este tiempo es el mínimo establecido por la especificación CFE L0000 - 45 (Apéndice D.2 REGISTRO Y PROCESO DE LAS MEDICIONES). Se consideró el tiempo mínimo de monitoreo para cumplir con el cronograma de trabajo, sin embargo la semana de muestreo fue significativa ya que las dependencias se encontraban trabajado a su demanda máxima.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



1.- CALIDAD DE LA ENERGÍA

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en las actividades cotidianas, para su uso en la iluminación, la operación de diversos equipos, video, aire acondicionado y sistemas de cómputo; los disturbios y variaciones de tensión que se producen tienden a afectar de alguna u otra manera el sistema de distribución eléctrica y equipos.

La calidad de energía en un sistema eléctrico se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, fenómenos transitorios, variaciones de frecuencia, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de tensión eficaz, esto tiene que ver con la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico (PÉREZ *et al.*, 2008). En la actualidad, contar con calidad de energía exige una atención continua en el servicio. Recientemente esta atención ha sido de mayor importancia debido a que se ha incrementado el número de cargas sensibles en los sistemas de distribución.

Se puede considerar, que el objetivo del análisis de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para mejorar las condiciones de operación de los sistemas y proponer la corrección de los disturbios en el lado de los usuarios, además de plantear soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica, para así lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios de las sociedades modernas para el soporte de la vida cotidiana.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Los usuarios de la electricidad en el Campus de Ciudad Universitaria y principalmente en la Zona Cultural Universitaria (ZCU), la cual es objeto de estudio del presente trabajo; requieren de un servicio de alto nivel, debido a que la energía eléctrica soporta y apuntala la vitalidad en los trabajos de investigación, academia y cultura de la Universidad. En México, se cuenta con normas y especificaciones, por ejemplo CFE L0000 - 45 (DESVIACIONES PERMISIBLES EN LAS FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SUMINISTRO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. (2005)); en las cuales se establecen las recomendaciones para limitar o eliminar algunos factores relacionados con la calidad de la energía, como son:

- Corrientes armónicas.
- Variaciones de tensión.
- Interrupciones de energía.

1.1.- Repercusiones en la calidad de energía debido a las interrupciones

Las perturbaciones en los sistemas eléctricos de la ZCU normalmente son causadas por descargas atmosféricas, las operaciones de interruptores, los cortocircuitos, cargas no lineales, el mal estado de las instalaciones, la antigüedad de los equipos eléctricos y la alta resistividad del terreno en el que se encuentran instaladas las líneas y subestaciones. Todos estos factores tienen efectos negativos sobre la calidad de la energía que se requiere en las redes de distribución de media y baja tensión.

Estos efectos negativos repercuten en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, dando como resultado fallas en los sistemas o en operaciones erráticas de los equipos electrónicos y en la



Capítulo 1 Calidad de la Energía



degradación del tiempo de vida de los elementos y equipos que componen la red eléctrica, como: transformadores, interruptores, conductores, etc.

Con el fin de garantizar una energía de calidad en las dependencias de la ZCU, se realizó un análisis y estudio de distintos fenómenos que se presentan en el sistema eléctrico, asociados a fallas atribuibles al consumidor, sin embargo; es necesario realizar un análisis para evaluar las fallas atribuibles al suministrador, para corregir y prevenir los disturbios antes mencionados. Garantizando de esta forma un suministro con calidad en la energía eléctrica al usuario.

1.2.- Fallas atribuidas al consumidor

Dentro de las distintas fallas que ocurren en los sistemas de distribución, no todas son atribuibles al diseño y construcción del sistema. El usuario, ya sea por descuido, negligencia o mal uso de los equipos e instalaciones eléctricas puede provocar fallas que afectan a todo el sistema eléctrico. A continuación, se hará un análisis de las fallas más importantes provocadas por el consumidor.

1.2.1.- Variaciones de tensión

Los fenómenos de la variación de la tensión ya sea en el aumento o en la caída, normalmente se dan en zonas donde existe infraestructura con gran cantidad de consumo eléctrico, las cuales provocan repentinamente cambios en la carga, originados por arranque de motores o de grandes máquinas. Las condiciones de alto o bajo voltaje se presentan durante la desconexión de cargas de gran tamaño o durante periodos de sobrecargas.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Una disminución severa se define como aquella tensión que sea menor al 85 % del valor de la tensión nominal (PÉREZ *et al.*, 2008). Si estas condiciones se presentan con frecuencia o durante periodos prolongados, pueden dar lugar al envejecimiento de componentes electrónicos en sistemas digitales y errores durante el almacenamiento o lectura de la información. Su presencia puede, algunas veces, detectarse visualmente al presentarse “parpadeo” o disminución del nivel de iluminación en lámparas o reducción del área de despliegue en monitores de televisión o computadoras (PÉREZ *et al.*, 2008).

En México, CFE establece los límites y normas con las cuales se puede evaluar las variaciones de la tensión, en la especificación L0000 - 45.

1.2.2.- Caída de Tensión (Sags)

Las caídas de tensión son la disminución rápida de la tensión nominal de entre 10 y 90 % o bien de la corriente instantánea eficaz a la frecuencia que se tiene en la red, en un punto determinado del sistema y que tiene una duración desde 0.5 ciclos hasta 60 segundos y se pueden clasificar como instantáneos, momentáneos o temporales. En la fórmula 1.1 y 1.2, se definen los valores de tensión y corriente eficaz.

$$I_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.7071 I_n \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

$$V_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t v^2 dt} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.7071 V_n \quad \dots\dots\dots(1.2)$$



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Las caídas de tensión se pueden clasificar dependiendo de su duración y magnitud. En la tabla 1.1, se muestra la clasificación de las caídas de tensión con su correspondiente duración y magnitud de la tensión.

Tabla 1.1 Clasificación de las Caídas de Tensión.

VARIACIONES EN LA TENSIÓN		
CATEGORIA	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Instantáneas	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
Momentáneas	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Temporales	3 s - 60 s	0.1 - 0.9 pu

En la figura 1.1, se muestra la forma de onda característica de una caída de tensión.

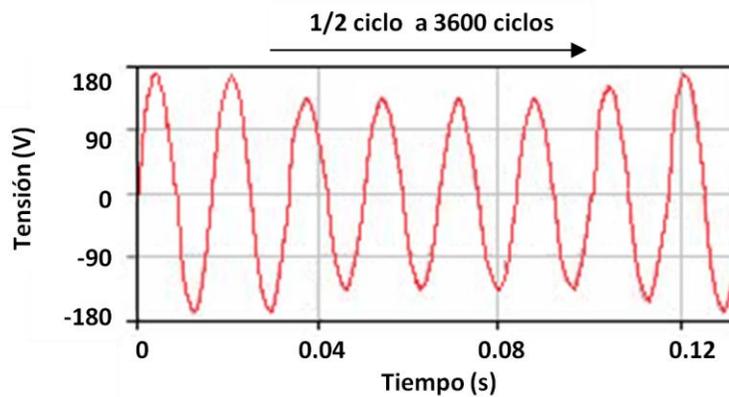


Figura 1.1. Caída de Tensión.

Este fenómeno también puede ser causado por la corriente de arranque de motores de gran capacidad así como al flujo de corrientes de falla.

Cuando se ha presentado un cortocircuito monofásico en un circuito trifásico, normalmente aparecen las variaciones de tensión rápidas (Sags) en las fases que no presentaron fallas. Los Sags suelen aparecer también cuando los sistemas han



Capítulo 1 Calidad de la Energía



rechazado carga.

En el presente trabajo no se consideraron los datos de los Sags, ya que este parámetro pertenece a otro estudio.

1.2.3.- Aumentos de tensión (Swell)

Los aumentos de tensión son el incremento temporal del valor RMS de tensión superior del 10% del valor nominal hasta el 80%, a la frecuencia del sistema, con duración de 0.5 ciclos o hasta 1 minuto (PÉREZ *et al.*, 2008). Normalmente son frecuentes en las fases que no presentan falla en un circuito trifásico cuando se presenta un cortocircuito monofásico. Se clasifican en: instantáneas, momentáneas y temporales.

Los aumentos de tensión se pueden clasificar dependiendo de su duración y magnitud. En la tabla 1.2, se muestra la clasificación de los aumentos de tensión con su correspondiente duración y magnitud de la tensión.

Tabla 1.2 Clasificación de los Aumentos de Tensión.

VARIACIÓN EN LA TENSIÓN		
CATEGORIA	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Instantáneas	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
Momentáneas	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
Temporales	3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu

En la figura 1.2, se muestra la forma de onda característica de un aumento de tensión.



Capítulo 1 Calidad de la Energía

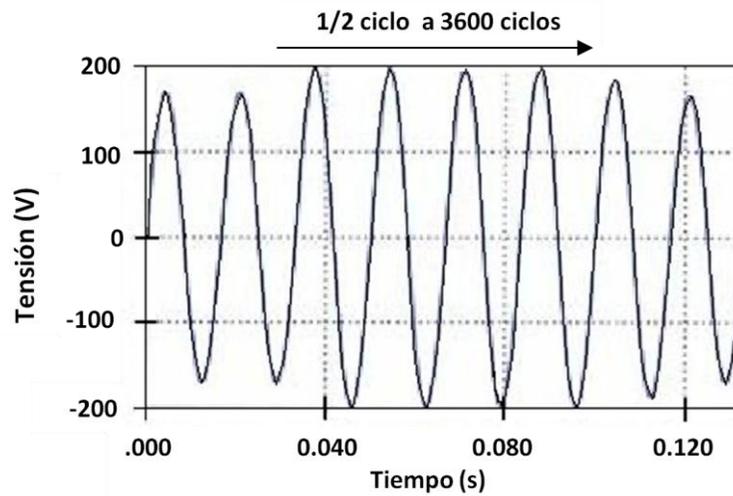


Figura 1.2. Aumento de Tensión.

Los aumentos de tensión pueden ser causados por operaciones de maniobras asociadas con la desconexión temporal de la instalación, o bien, al flujo de corrientes de falla.

Los aumentos en la tensión pudieran ocasionar fallas en los controladores de estado sólido y los controles de motores, especialmente en los dispositivos que permiten variar la velocidad de un motor, los cuales pueden hacer que la operación sea interrumpida al accionarse los equipos de protección de sus equipos electrónicos. Así también, pudiera ser que se sometieran a esfuerzos dieléctricos a los componentes de computadoras ocasionando que su vida útil sea acortada. Para que estos efectos dañinos, producidos por este tipo de fenómenos sean mínimos, se deberán instalar supresores de transitorios y sistemas ininterrumpibles de energía eléctrica en los circuitos donde se encuentren instalados los equipos más sensibles a este tipo de fenómenos.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



En el presente trabajo no se consideraron los datos de los Swell, ya que este parámetro pertenece a otro estudio.

1.2.4.- Sobretensiones transitorias

Las sobretensiones transitorias se manifiestan en forma de impulsos u oscilaciones de tensión de corta duración en un sistema de potencia, superpuestos en la señal de alimentación y que se amortigua en el tiempo, con una duración menor a dos milisegundos (PÉREZ *et al.*, 2008). Los impulsos pueden tener su origen en las descargas atmosféricas, en maniobra de interruptores y al conectar o desconectar capacitores para la corrección del factor de potencia, estos son los llamados “picos” de tensión.

A diferencia de las sobretensiones temporales y exceptuando el caso crítico de descargas atmosféricas cercanas a las instalaciones que producen chispas en los contactos, estas sobretensiones no presentan una indicación clara de su existencia, que pueda detectarse visualmente en circuitos de alumbrado o en alguna otra forma. Sin embargo, dado que su nivel puede llegar a alcanzar cinco veces o más la tensión nominal, su efecto consiste en someter a esfuerzos excesivos el aislamiento de diversos equipos o disturbios a componentes electrónicos sensibles. Esto último puede traer como consecuencia interrupción de programas en procesos de computadoras, pérdida de información almacenada en memoria o daño a los elementos mismos (hardware). Otros factores transitorios, dentro de esta clasificación, son las operaciones de conexión y desconexión de motores eléctricos en elevadores, equipos de aire acondicionado, refrigeradores, etc.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Los transitorios pueden ser impulsos unidireccionales o bien ondas oscilatorias amortiguadas en cualquier polaridad.

Cuando se abre o se cierra un interruptor, tanto en baja como en alta tensión, se pueden observar frecuencias muy altas, originadas por este evento, y que llegan a ser del orden de 3 MHz (PÉREZ *et al.*, 2008), con lo cual origina que la componente transitoria afecte y provoque una inducción entre cables que vayan pegados a los conductores que llevan esta señal de alta frecuencia, como son los conductores de los circuitos de control y protección, ocasionando así, la operación indeseada de algún interruptor. Estos transitorios se pueden clasificar de la siguiente manera.

a) Impulso.

Es un cambio repentino de potencia a una frecuencia distinta de la fundamental, unidireccional en su polaridad (positiva o negativa). Normalmente son caracterizadas por sus tiempos de cresta y valle (PÉREZ *et al.*, 2008), la causa más común son las descargas atmosféricas. Ellos involucran altas frecuencias, por esto son amortiguados rápidamente por la componente resistiva del circuito y no son conducidos a largas distancias desde su fuente. Pueden excitar la resonancia de los circuitos y producir transitorios oscilatorios (PÉREZ *et al.*, 2008). En la tabla 1.3, se muestra una clasificación de éstos.

Tabla 1.3 Clasificación de los Impulsos.

TRANSITORIOS		
CATEGORIA	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Nanosegundos	5 nano seg de elevación	Menor a 50 ns
Microsegundos	1 micro seg de elevación	50 ns - 1 μ s
Milisegundos	0.1 mili seg de elevación	Mayor a 1 ms



b) Oscilatorios.

Son transitorios en los cuales su valor instantáneo de tensión cambia de una manera rápida de polaridad. Siempre son ocasionados por maniobra de equipos, tales como desconexión de líneas, banco de capacitores; cada uno de ellos tiene un rango de tiempo y de frecuencia característica, tal como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Clasificación de los Oscilatorios.

TRANSITORIOS			
CATEGORIA	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Baja frecuencia	Menor a 5 khz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Frecuencia media	5 - 500 khz	20 μ s	0 - 8 pu
Alta frecuencia	0.5 - 5 Mhz	5 μ s	0 - 4 pu

En el presente trabajo no se obtuvieron los datos de las sobretensiones transitorias, ya que este parámetro pertenece a otro estudio.

1.2.5.- El flicker o parpadeo (P_{ST} y P_{LT})

El flicker o parpadeo de la luz se define como “la impresión subjetiva de fluctuación de la intensidad luminosa”. Es un fenómeno de origen fisiológico visual que se presenta en los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a los circuitos de iluminación y también a algún tipo de carga (PÉREZ *et al.*, 2008).

El parpadeo produce cierta molestia que se manifiesta principalmente en las lámparas que operan con baja tensión; sin embargo, las llamadas perturbadoras, que producen el fenómeno de parpadeo, se pueden encontrar conectadas en



Capítulo 1 Calidad de la Energía



cualquier nivel de tensión.

El origen del flicker o parpadeo se encuentra en las fluctuaciones bruscas de la tensión en la red y básicamente se consideran las fluctuaciones de amplitud menor al 10 % y por períodos de tiempo, de corta o larga duración, dependiendo del parámetro a considerar.

Principalmente, el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de amplitud pequeña en la tensión de alimentación y que pueden ser provocadas principalmente por:

- La variación fluctuante de potencia que absorben cargas como: máquinas soldadoras eléctricas, hornos de arco eléctrico, motores eléctricos (arranque principalmente), etc.
- Energización o desenergización de motores eléctricos y bancos de capacitores.

Dada la especificación de CFE L0000 - 45, para los P_{ST} y P_{LT} , se establecen los límites que deben cumplir, estos son: $P_{ST} \leq 1$ y $P_{LT} \leq 0.65$. De esta manera se garantiza una adecuada calidad de la energía, y así eliminar ó disminuir este fenómeno fisiológico visual, que a los usuarios puede perturbar y dañar a largo plazo.

1.3.- Desbalance en la tensión y la corriente

Este desbalance se hace manifiesto cuando en la magnitud de las tres fases existe una diferencia, o no se cuenta con los ángulos que existen entre las tres fases; que es de 120 grados eléctricos. En la fórmula 1.3, se define este



Capítulo 1 Calidad de la Energía



desbalance como: el valor absoluto de la relación de la tensión máxima menos la tensión promedio entre la tensión promedio, expresado en porcentaje.

$$D[\%] = \left| \frac{\text{Tensi ón Maxima} - \text{Tensi ón Promedio}}{\text{Tensi ón Promedio}} \right| \dots\dots\dots(1.3)$$

En un sistema de potencia cualquiera, aun cuando exista un correcto balanceo de tensi3n, siempre existiría en sus estados instantáneos un desbalance de tensiones que oscilan entre el 1 - 1.5 % del valor de la tensi3n nominal con que se cuente. Cuando el desbalance de tensiones es mayor del 3 %, que es el máximo permisible en la especificaci3n de CFE L0000 - 45, se correrá el riesgo de que existan sobrecalentamientos en los conductores de las líneas y esto conlleva un desgaste y envejecimiento en los equipos (PÉREZ *et al.*, 2008).

Este mismo concepto y f3rmula pueden aplicarse en el desbalance de la corriente. En la tabla 1.5, se puede apreciar los desbalances en la tensi3n y la corriente.

Tabla 1.5 Desbalance en la Tensi3n y la Corriente.

DESBALANCE	MAGNITUD [%]
Tensi3n	3
Corriente	ésta dependerá de la impedancia relativa del sistema

1.4.- Sistema de puesta a tierra

Una de las necesidades básicas con las que debe contar una subestaci3n eléctrica y los sistemas de potencia y distribuci3n es el Sistema de Puesta a Tierra debido a que es para la protecci3n de sobretensiones y corrientes que pudieran



Capítulo 1 Calidad de la Energía



dañar a la red y a los equipos eléctricos así como para la protección del personal que da mantenimiento y que opera el sistema.

El sistema de tierra interviene en la calidad de energía de la siguiente manera:

- Limitan las sobretensiones.
- Evitan, cuando exista una circulación de corrientes a tierra, diferencias de potencial entre diversos puntos de la red y la subestación, lo cual se puede traducir en un serio peligro para el personal que opera los equipos.
- Nos da una mayor confiabilidad y continuidad en el servicio eléctrico.
- La instalación de relevadores facilita la eliminación de las fallas a tierra.

La efectividad de la conexión a tierra de un sistema está relacionada también con la resistencia del mismo. Mientras más baja sea la resistencia de la conexión a tierra más efectiva será esta conexión.

Dado que una buena conexión a tierra es muy importante para la seguridad del sistema y la continuidad en el servicio, el mantenimiento preventivo, las revisiones y pruebas deberán hacerse periódicamente.

Cuando es deficiente este sistema, los problemas serán continuos e interferirán en el buen funcionamiento de los equipos de protección.

En el presente trabajo no se obtuvieron los datos del sistema de puesta a tierra, ya que la medición de este parámetro no fue incluida en el periodo de medición y evaluación que comprende esta tesis. Sin embargo, es necesario realizar la evaluación de este para complementar el presente estudio y saber



cómo afecta el sistema de puesta a tierra en la calidad de la energía en la ZCU.

1.5.- Armónicas

Las armónicas son formas de onda senoidales tanto de las tensiones como de las corrientes, son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la onda de la línea de alimentación de la empresa suministradora. Éstas cuando se suman a la onda fundamental provocan una distorsión, según sea el orden de la armónica y su magnitud será el grado de distorsión de la onda fundamental. Por ejemplo, en un sistema en donde la onda fundamental es de una frecuencia de 60 Hz, la segunda armónica es de 120 Hz, la tercera de 180 Hz, y así sucesivamente.

La aparición creciente de cargas no lineales en sistemas de distribución, tales como: convertidores estáticos de potencia, controladores de motores con rectificadores de silicio, hornos de arco, equipos de cómputo, iluminación fluorescente, lámparas de descarga, etc., ha traído como consecuencia un aumento notable del contenido de componentes armónicas, que son manifestadas en forma de distorsiones diversas de la forma de onda de tensión en la red de distribución como se muestra en la figura 1.3.

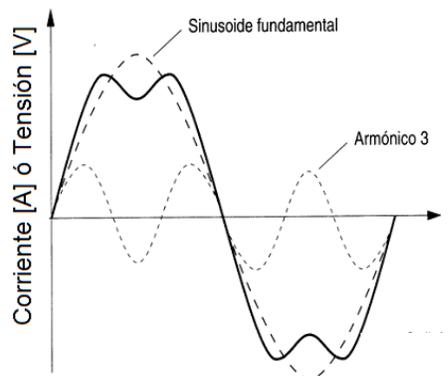


Figura 1.3 Distorsión Armónica.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Los consumidores ubicados cerca de instalaciones industriales o aquellos que tienen alguna carga no lineal como es el caso de la ZCU, pueden ver expuestos sus equipos sensibles a una operación inadecuada.

La existencia de armónicas en la red de distribución provoca aumento de las pérdidas en equipo por efecto Joule con el consecuente aumento de temperatura, sobre esfuerzo en aislamientos y disturbios provocados por interferencia en circuitos de control de protecciones y en sistemas de telecomunicaciones.

Lo notable del problema de las armónicas, es su cantidad y magnitud que se han observado en los últimos años en los sistemas eléctricos (PÉREZ *et al.*, 2008) como es el caso de la red eléctrica de la ZCU. La razón principal de esto es la presencia cada vez mayor de las llamadas cargas no lineales instaladas en este campus, es decir, cargas como:

- Computadoras.
- El reemplazo de balastos ferromagnéticos por balastos electrónicos.
- Equipo electrónico en general.
- Iluminación fluorescente.
- Lámparas de descarga.

Estos elementos distorsionadores de la forma de onda introducen, cuando tienen una cierta magnitud, problemas a la red eléctrica. La mayoría de las veces se presentan los problemas en el lado de las cargas (usuarios) y si no se controlan aquí se transmiten a la red y de aquí a otros usuarios o cargas conectadas a la misma. Eventualmente las armónicas pueden amplificar su efecto cuando pasan a través de los bancos de capacitores en derivación, como aquellos usados para la corrección del factor de potencia.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Generalmente, se evalúa la magnitud de estas armónicas haciendo mediciones en la onda de tensión en el lado de la red.

La onda distorsionada de corriente en el lado de la carga produce una caída de tensión con la impedancia de la red de distribución, de manera que la onda de tensión se distorsiona, en estas condiciones cualquier otro usuario conectado a la misma red toma una señal distorsionada o contaminada con armónicas. Es decir, en el problema de las armónicas, si no se controla en el punto en donde se generan, se puede transmitir a otros usuarios o a la misma red.

La presencia de estas armónicas se puede detectar en una red, a través de los efectos que se producen, como son (PÉREZ *et al.*, 2008):

- Fusibles fundidos con mucha frecuencia en los bancos de capacitores.
- Transformadores y motores eléctricos que se sobrecalientan sin razón aparente. Cuando la excitación al transformador se hace con ondas distorsionadas que contiene terceras armónicas o múltiplos de estas, novena, doceava, quinceava, etc., entonces las pérdidas en vacío aumentan y se tiene mayor calentamiento, sin que exista sobrecarga en el transformador. Una cosa similar ocurre con los motores, sin que estén sobrecargados.
- Operación incorrecta de protecciones por relevadores que reciben señal de corriente.
- Efectos de ruido eléctrico en líneas telefónicas.

Generalmente, los sistemas eléctricos de potencia operan con bajas frecuencias (60 Hz) a altas corrientes (cientos o miles de amperes) y altas tensiones (volts o kilovolts); y los sistemas de comunicación operan con bajas



Capítulo 1 Calidad de la Energía



corrientes (miliamperes), bajas tensiones (milivolts o volts) pero altas frecuencias (kHz o MHz). Por lo tanto, cuando las armónicas altas se producen en los sistemas eléctricos, como por ejemplo: 5^a (5X60=300 Hz), 7^a (7X60=420 Hz), 11^a (11X60=660 Hz), éstas se aproximan más al rango de interferencia electromagnética con los sistemas de comunicación.

Las magnitudes que comúnmente se tratan para el estudio de estas perturbaciones son las siguientes:

- La Componente fundamental, es la componente original o principal de orden uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica. En la figura 1.4, se muestra la forma de onda fundamental.

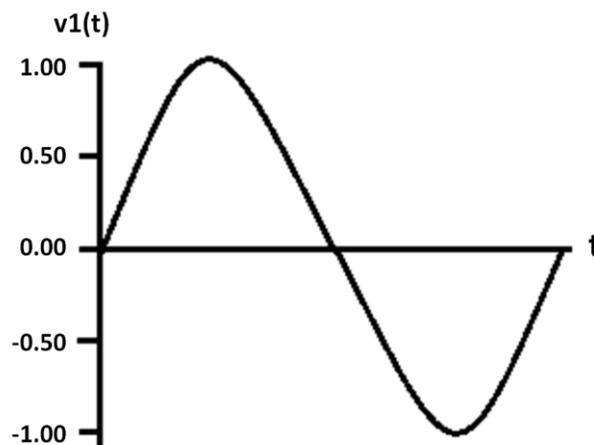


Figura 1.4 Onda Fundamental.

- La Componente Armónica es la componente de orden mayor que uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica. En la figura 1.5 se muestra la descomposición en componentes armónicas; de izquierda a derecha, **a)** onceava armónica, **b)** séptima armónica y **c)** quinta armónica.



Capítulo 1
Calidad de la Energía

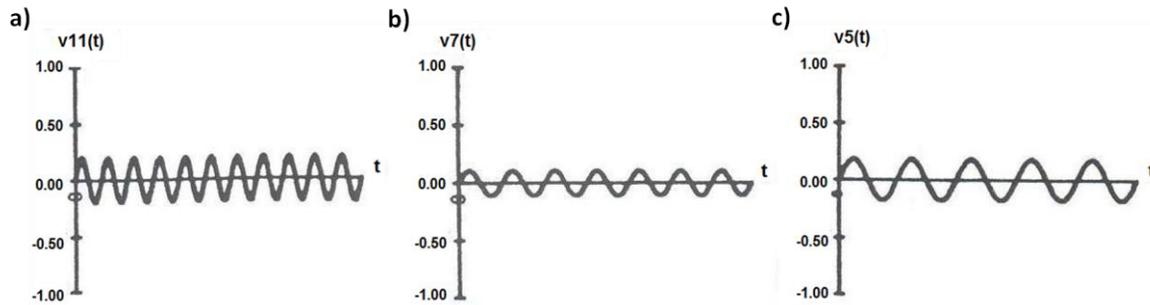


Figura 1.5 Descomposición en Componentes Armónicas. a) Onceava Armónica, b) Séptima Armónica, c) Quinta Armónica.

- La Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés), es una figura de mérito para cuantificar. En la figura 1.6, se muestra la onda periódica real distorsionada. En la fórmula 1.4 y 1.5 se expresa la distorsión armónica en la corriente y tensión respectivamente. La DAT se define como la relación de la raíz cuadrada del contenido armónico entre la raíz cuadrada de la cantidad fundamental, expresada en por ciento.

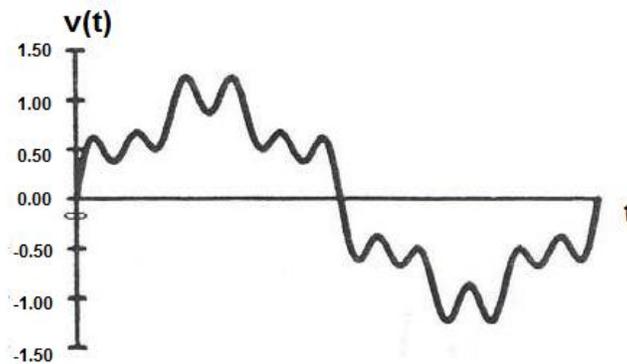


Figura 1.6 Onda Periódica Real Distorsionada.

$$DATC = 100 \left[\sum_{h=2}^H \frac{I_h^2}{I_1^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1.4)$$



Capítulo 1 Calidad de la Energía



$$DATT = 100 \left[\sum_{h=2}^H \frac{V_h^2}{V_1^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1.5)$$

Dónde:

V_h = Componente de la “h” armónica de tensión.

V_1 = Componente de frecuencia fundamental de tensión.

I_h = Componente de la “h” armónica de corriente.

I_1 = Componente de frecuencia fundamental de corriente.

h = Número de armónica, “1” indica la componente de frecuencia fundamental.

H = 25 como mínimo.

- Aumento de la tensión con respecto al neutro y tierra. Esta magnitud se caracteriza por la diferencia de tensión que se da entre el neutro y la tierra del sistema, se debe principalmente a que circulan corrientes de gran magnitud por alguno de los dos conductores, o también por que el dimensionamiento de estos conductores no fue el apropiado.

Las armónicas en los sistemas de potencia son un problema de estado continuo, trayendo como consecuencia que sean potencialmente peligrosas. Las armónicas se presentan en corriente, tensión o ambas y se combinan con la onda de la frecuencia fundamental para crear una distorsión en ésta. El grado de distorsión está relacionado directamente con las frecuencias y amplitudes de las armónicas.

Las armónicas normalmente no son producidas por un sistema eléctrico de potencia, pero si en la mayoría de los casos por las cargas conectadas al mismo.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Principalmente las consecuencias que estos fenómenos traen sobre las cargas son (PÉREZ *et al.*, 2008):

- En los equipos como transformadores y generadores: las armónicas provocan un fenómeno de calentamiento considerable sobre los valores de la corriente RMS debido a la histéresis, las corrientes parásitas y el efecto piel.
- En los motores producen un sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas de secuencia negativa (5ª armónica) y las corrientes parásitas.
- En los conductores la existencia de corrientes armónicas aumenta el valor medio cuadrático de la corriente, lo que ocasiona mayor pérdida y sobrecalentamiento. Este efecto en los conductores también se da por que la corriente alterna tiende a fluir hacia la superficie externa de un conductor (efecto piel), fenómeno que es más pronunciado a altas frecuencias, lo que ocasiona pérdidas adicionales y sobrecalentamiento.
- En los interruptores termomagnéticos automáticos que trabajan por medio de un mecanismo de activación que se acciona con el efecto de calentamiento por la corriente del circuito, pueden activarse debido al sobrecalentamiento ocasionado por las armónicas.
- Cuando se usan conductores eléctricos y barras de mayor tamaño se reducen las pérdidas y efectos causados por las armónicas; es recomendable separar las cargas lineales de las no lineales que son las causantes de las armónicas y cambiar los tableros e interruptores automáticos en donde se esté presentando este fenómeno.
- En la barra de neutro, para los circuitos con cargas no lineales, las armónicas de orden impar (3º, 9º, 15º, etc.) no se anulan en el conductor neutro, trayendo como resultado que la corriente por este conductor pueda ser mayor que la corriente de fase. El riesgo estaría en que pudiera existir



Capítulo 1 Calidad de la Energía



un sobrecalentamiento considerable en el cable neutro, con esto se presentarían caídas de tensión entre el neutro y la tierra. En estos casos se recomienda que el tamaño del conductor de neutro sea el doble que el conductor de fase, esto cuando se están alimentando cargas no lineales.

- Existe la opción de instalar un conductor neutro para cada fase. Otra opción para el bloqueo del flujo de armónicas que tienden a circular por el neutro, es utilizar transformadores con conexión delta-estrella.
- En el tablero de distribución, debido a las corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos se origina un calentamiento en los componentes que forman estos tableros.
- En los capacitores que se emplean en la corrección del factor de potencia: Dado que estos capacitores pueden ser la impedancia más baja de un sistema, las armónicas pueden quemar los fusibles y además, en esquemas de compensación central pueden generar resonancias armónicas.
- Los dispositivos que protegen contra sobrecorrientes como fusibles y desconectadores son afectados por el calentamiento debido al efecto piel en corrientes con alto contenido armónico.
- Los equipos de protección son afectados por las armónicas, provocando disparos en situaciones en las que no debería producirse este evento. Esto se debe a que existe un calentamiento adicional en el tablero, generado por que existe una corriente de la 3^o armónica circulando en el conductor del neutro.
- En los instrumentos de medición las armónicas provocan errores en la medición de la energía cuando son utilizados equipos de inducción. Estas armónicas también ocasionan que los discos corran más rápido o más lento, para la misma corriente RMS. Si este medidor se utiliza para facturar el consumo, el pago puede ser más alto o más bajo de lo que



Capítulo 1 Calidad de la Energía



realmente es.

- En los equipos electrónicos al distorsionarse la forma de onda de la línea que los alimenta, estos equipos pueden presentar fallas en su funcionamiento como apagado sin razón aparente (porque el equipo confunde la distorsión con una disminución en el valor eficaz).
- En los equipos para regular la tensión (reguladores). Varios de estos equipos de control usan circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión y de corriente, pero con un contenido elevado de armónicas pueden existir muchos cruces, lo que provocaría con ello la inestabilidad en la velocidad y el control de la frecuencia.

Por todo lo anterior, un aspecto primordial en el estudio y análisis de la calidad de energía en una red eléctrica como la de la ZCU corresponde al concepto de distorsión armónica total. En la actualidad, el uso de cargas no lineales como son: las computadoras, balastos electrónicos, variadores de velocidad y fuentes de poder ininterrumpibles (UPS), son generadores de tensiones y de corrientes armónicas que afectan considerablemente a distintos equipos que fueron diseñados para trabajar con cargas lineales, es decir, que fueron diseñados para trabajar con una forma de onda senoidal de 60 Hz. Por lo antes dicho, es necesario evaluar el impacto que tienen las corrientes y las tensiones armónicas dentro de las instalaciones y de los equipos.

1.6.- Factor K

Es una ponderación de las corrientes de carga de armónicos de acuerdo con sus efectos sobre el calentamiento del transformador, deriva de ANSI / IEEE C57.110. Un factor K-1 indica una carga lineal (no hay armónicos). Un valor elevado de "K" indica la presencia de una gran cantidad de armónicos en la carga,



Capítulo 1 Calidad de la Energía



los que sólo pueden ser medidos utilizando instrumentos especiales, en el caso de la ZCU se utilizó el analizador de calidad de potencia trifásico. En general, el Factor “K” varía con respecto al tipo de la carga.

Los transformadores que operan en sistemas de distribución con un contenido significativo de armónicos, pueden presentar problemas por el incremento de temperatura debido a la circulación de éstos. En esta situación el transformador no debe funcionar a su potencia nominal y debe disminuirse la carga (rateo). El transformador se “ratea” asociándole una potencia equivalente inferior a la nominal. Esta potencia equivalente es igual a la potencia basada en el valor eficaz de la corriente no sinusoidal multiplicada por el factor “K” (URL 5). Por tanto, el Factor “K” se define como aquel valor numérico que representa los posibles efectos de calentamiento de cargas no lineales sobre el transformador.

Para transformadores convencionales que deban funcionar con cargas no lineales, el factor de rateo puede llegar a valores de 30% a 40% (URL 5). Es decir, en estos casos el transformador debe estar sobredimensionado, lo que trae varios inconvenientes (URL 5).

- Normalmente la placa de especificaciones técnicas no se cambia, por lo que en un próximo mantenimiento puedan pensar que el transformador está trabajando muy por debajo de su capacidad e incremente nuevamente la potencia.
- Los transformadores sobredimensionados tendrán impedancia reducida, por lo que los armónicos circulan más fácilmente. Además, se eleva la intensidad de cortocircuito. Un neutro subdimensionado puede producir caídas de tensión y diferencias de potencial respecto de la tierra.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Adicionalmente, en sistemas trifásicos, se producen problemas de sobrecarga en los conductores de neutro debido al efecto aditivo de las corrientes de la tercera armónica (180 Hz para frecuencia fundamental de 60 Hz) que circulan por él. Se producen pérdidas adicionales por la circulación de estas corrientes en los devanados primarios, perdidas por las corrientes de Foucault y por efecto “Piel” (URL 5).

Para evitar los riesgos antes mencionados, se han diseñado transformadores con Factor “K”: K-1, K-4, K-9, K-13, K-20, K-30, K-40 y K-50. En teoría, un transformador puede ser diseñado para otras evaluaciones del factor “K” de entre estos valores y para valores superiores. Las clasificaciones se hacen en conformidad con la norma ANSI / IEEE C57.110, de la siguiente manera (URL 6):

K-1: Esta es la evaluación de cualquier transformador convencional que está diseñada para soportar los efectos del calentamiento de las pérdidas normales y las pérdidas adicionales por corrientes parásitas (eddy) resultantes de una frecuencia de 60 Hz, con el transformador cargado con corriente sinusoidal. Esta unidad puede o no estar diseñada para soportar el calentamiento adicional de los armónicos en su corriente de carga.

K-4: Un transformador con esta evaluación está diseñado para suministrar el 100 % de la carga nominal en KVA sin sobrecalentamiento, a la frecuencia fundamental de 60 Hz, además de:

- 16 % de la fundamental con la 3^a corriente armónica.
- 10 % de la fundamental con la 5^a corriente armónica.
- 7 % de la fundamental con la 7^a corriente armónica.
- 5.5 % de la fundamental con la 9^a corriente armónica.
- Porcentajes menores, a partir de la 11^a corriente armónica.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



El "4" indica su capacidad para soportar cuatro veces las pérdidas de la corriente "eddy" de un transformador de K-1.

K-9: Un transformador K-9 puede soportar 163 % de la carga armónica de un transformador clasificado de K-4.

K-13: Un transformador K-13 puede soportar 200 % de la carga armónica de un transformador clasificado de K-4.

K-20, K-30, K-40 y K-50: El número más alto de cada una de estas clasificaciones del factor "K" indica la capacidad de trabajar con cantidades sucesivamente mayores de niveles de armónicos de la carga sin riesgo de sobrecalentar.

Los transformadores que conforman la ZCU no cuentan con una clasificación del factor "K" en la placa de especificaciones técnicas, sin embargo, con base en la norma ANSI / IEEE C57.110, en el presente trabajo se obtuvieron estos parámetros.

1.7.- Porcentaje de Utilización

Este parámetro refleja el porcentaje utilizado del transformador e indica si está sobrecargado o subutilizado. Es la relación de la demanda entre la capacidad del transformador, expresado en porcentaje.

No existe una norma que establezca cual es el porcentaje de utilización ideal, para el óptimo funcionamiento de un transformador, sin embargo, para que un transformador no tenga pérdidas de energía considerables, se estableció un porcentaje de utilización de entre 56.63 a 57.73 %, para la ZCU (NOM - 002 - SEDE - 1999).



Capítulo 1 Calidad de la Energía



1.8.- Factor de Potencia

Este parámetro es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, es decir, es la cantidad de energía eléctrica que es susceptible de convertirse en energía transformable. El factor de potencia puede tomar valores entre cero y uno, lo que significa que el valor ideal de este factor es 1, esto indica que toda la potencia requerida por la carga es potencia activa o potencia transformable.

Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor requerimiento de potencia para producir potencia transformable.

El hecho de que exista un bajo factor de potencia dentro de la ZCU, producen los siguientes inconvenientes:

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incremento de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- Al aumentar la temperatura en los conductores, disminuye la vida de su aislamiento.

Algunas causas que contribuyen a un factor de potencia bajo son (URL 1):

- Mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos que la conforman.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Subutilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos y en el sistema eléctrico.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Considerando lo anterior, el factor de potencia por debajo del 90 % significa energía desperdiciada por los equipos y en consecuencia se tendrá un cargo el cual se verá reflejado en un incremento en la facturación.

1.9.- Factor de Cresta

El factor de cresta, FC, de una señal de voltaje o corriente se define como; el cociente entre el nivel del pico máximo y su valor eficaz durante un tiempo predeterminado. Este factor es adimensional y se estila graficar en el tiempo, para poder observar su tendencia, es decir, si aumenta o disminuye y con qué tasa lo hace.

El FC se define como:

$$FC = \frac{V_p}{V_{ef}} ; \text{ para } 0 < t \leq t_o$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int (V_e(t))^2 dt}$$

Donde:

t_o = Tiempo de evaluación.

T = Periodo de evaluación.

V_e = Voltaje de la señal de entrada.

V_p = Voltaje del pico máximo de la señal.

V_{ef} = Voltaje del valor eficaz de la señal.



Capítulo 1 Calidad de la Energía



Debe considerarse que en algunos casos, el ruido eléctrico puede incorporarse a las señales y sobre o subestimar la lectura. Para fines del presente trabajo, basados en la onda senoidal, se consideró a F.C. = 1.4142.



2.- CALIDAD DE LA ENERGÍA DE LA ZONA CULTURAL UNIVERSITARIA: CASOS DE ESTUDIO

Para medir y evaluar la Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria (ZCU) se obtuvieron los parámetros (por ejemplo; P_{ST} , P_{LT} , desbalance en tensión y en corriente, demanda del transformador, etc.) del analizador de calidad de potencia trifásica de cada subestación de las diversas dependencias que la conforman. Posteriormente, se realizaron los cálculos, se analizaron y compararon con la normativa vigente en México dependiendo de cada parámetro evaluado (por ejemplo, CFE L0000 - 45); con el fin de conocer la calidad de la energía con la que cuenta cada una de las subestaciones de esta zona. En la figura 2.1 se muestra el diagrama general de trabajo, utilizado para el presente estudio.

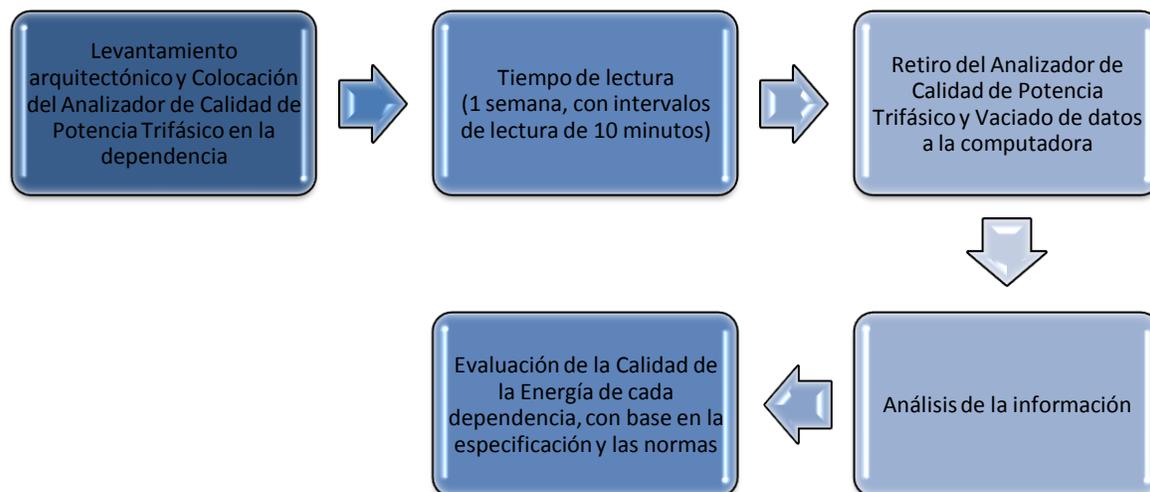


Figura 2.1 Diagrama General de Trabajo.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Para fines ilustrativos de la metodología, se utilizó únicamente una dependencia de la ZCU (UNIVERSUM), mostrando los parámetros obtenidos y sus cálculos, para su respectiva evaluación. Esto mismo se realizó para cada dependencia que forma parte de la ZCU.

Adicionalmente, se anexa el diagrama unifilar de la dependencia, el plano de la subestación y un acervo fotográfico que ilustra el estado físico de la misma.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



- Museo de las Ciencias UNIVERSUM.

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas de los Componentes Eléctricos de la Subestación del Museo de las Ciencias UNIVERSUM.

SUBESTACIÓN (GABINETE)	
TIPO	INTERIOR
MARCA	SQD
No. DE SERIE	31050101
TENSIÓN	23 kV
CORRIENTE	2000 A
No. DE SECCIONES	5
APARTARRAYOS	SI
TRANSFORMADOR M.T.	
CAPACIDAD	1000 kVA
TENSIÓN	23000 – 220Y/127 V
FRECUENCIA	60 Hz
MARCA	CONTINENTAL ELECTRIC
TIPO	INTERIOR
CLASE	OA
AISLAMIENTO	ACEITE
IMPEDANCIA	3.9 %
PESO TOTAL	5295 kg
No. SERIE	4003-12546
MEDIDAS: ANCHO / ALTO / LARGO	1.86/ 1.75/ 2.82 m
SISTEMA DE TIERRAS	
CALIBRE	4/0
MEDICIÓN	24 Ω
PLANTA DE EMERGENCIA	
POTENCIA	700 kW
FACTOR DE POTENCIA	0.8
CAPACIDAD	875 kVA
VOLTAJE	220/440
AMPERES	2299/1149
FASES	3
HILOS	4
CONEXIÓN	ESTRELLA
PESO TOTAL	2450 kg
No. DE SERIE	41785178-1



Capítulo 2
Calidad de la Energía
de la Zona Cultural
Universitaria: Casos de
Estudio



Transformador M.T. 1000 [kVA].



Secciones del Gabinete.



Planta de Emergencia.



Objetos Almacenados Dentro de la
Subestación.



2.1.- Porcentaje de utilización

Es el cociente de la demanda entre la capacidad del transformador, expresado en porcentaje.

$$\text{Utilización [\%]} = \frac{\text{Demanda [kVA]}}{\text{Capacidad Instalada [kVA]}} \times 100$$

$$\text{Utilización [\%]} = \frac{187.323 \text{ [kVA]}}{1000 \text{ [kVA]}} \times 100$$

$$\text{Utilización [\%]} = 18.732 \cong 19$$

El porcentaje de utilización del transformador es bajo, y no cumple con el valor establecido de 56.63 a 57.73 %. Esto indica que el transformador está sobredimensionado y subutilizado, derivando en pérdidas de energía en el cobre y el núcleo del transformador, por ser utilizados en menos del 56.63 % de la capacidad.

2.2.- Impedancia relativa

Es la relación de la corriente de corto circuito (I_{cc}) entre de corriente máxima medida. Para esto, primeramente se calculó la corriente de corto circuito, la cual se obtuvo aplicando la siguiente fórmula.

$$I_{cc} = \frac{\text{Capacidad del Transformador [KVA]}}{(\sqrt{3}) (\text{Transformador B. T. [KV]}) (Z_{pu})}$$



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



$$I_{cc} = \frac{1000 \text{ [KVA]}}{(\sqrt{3}) \left(\frac{220}{1000} \text{ [KV]} \right) \left(\frac{3.9}{100} \right)}$$

$$I_{cc} = \frac{1000 \text{ [KVA]}}{(\sqrt{3}) (0.220 \text{ [KV]}) (0.039)}$$

$$I_{cc} = 67370.0096 \text{ [A]}$$

Una vez obtenida la corriente de corto circuito (I_{cc}), se calculó la impedancia relativa.

$$Z_r = \frac{I_{cc} \text{ [A]}}{\text{Corriente Máxima Medida [A]}}$$

$$Z_r = \frac{67370.0096 \text{ [A]}}{1047 \text{ [A]}}$$

$$Z_r = 64.3458 \text{ [p. u.]}$$

2.3.- Desbalance en corriente

Los desbalances describen una alteración, en la cual las corrientes o tensiones de una fuente trifásica no son idénticas en magnitud, o el desplazamiento entre fases no es de 120 grados eléctricos; o ambas alteraciones. Esto afecta a los motores y otros dispositivos que dependen del adecuado balanceo de la fuente de suministro trifásica.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión, la cual es el valor absoluto de la relación de la corriente máxima menos la corriente promedio entre la corriente promedio, expresado en porcentaje.

$$D[\%] = \left| \frac{\text{Corriente Máxima} - \text{Corriente Promedio}}{\text{Corriente Promedio}} \right| \times 100$$

$$D[\%] = 5.724$$

Dada la impedancia relativa del sistema, el desbalance máximo permitido en la especificación de CFE, CFE L0000 - 45, es del 12 %, mostrando que el UNIVERSUM está dentro del rango permitido y el sistema se encuentra balanceado en la corriente.

2.4.- Desbalance en tensión

Es el valor absoluto de la relación de la tensión máxima menos la tensión promedio entre la tensión promedio, expresado en porcentaje.

$$D[\%] = \left| \frac{\text{Tensión Máxima} - \text{Tensión Promedio}}{\text{Tensión Promedio}} \right| \times 100$$

$$D[\%] = 0.112$$

Dada la impedancia relativa del sistema, el desbalance máximo permitido en la especificación de CFE, CFE L0000 - 45, es del 3 %, indicando que el UNIVERSUM está dentro del rango permisible y el sistema se encuentra balanceado en la tensión.



2.5.- Factor de potencia

Es el coseno del ángulo que forman la tensión y la corriente, o bien, el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente (figura 2.2).

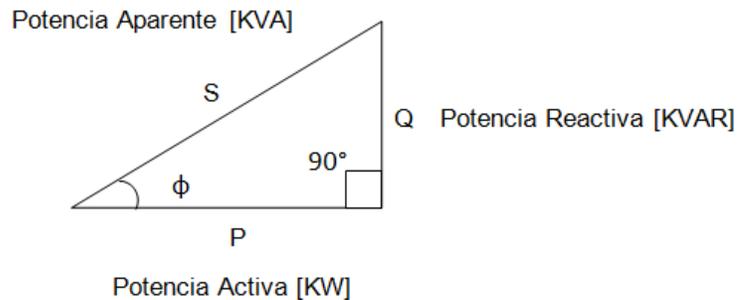


Figura 2.2 Triángulo de potencias.

$$\text{F. P.} = \frac{P \text{ (Potencia Activa)}}{S \text{ (Potencia Aparente)}} = \cos(\Phi)$$

$$\text{F. P.} = \frac{[\text{kW}]}{[\text{kVA}]} \leq 1$$

$$\text{F. P.} = 0.948$$

CFE sugiere que el factor de potencia tenga un valor superior a 0.9 (URL 1), con la finalidad de operar al sistema eléctrico con una eficiencia alta en términos de conversión de energía. Con los resultados obtenidos, concluimos que para efectos de facturación no se pagarían cargos por bajo factor de potencia.



2.6.- Indicador de variaciones de tensión de corto plazo (P_{ST})

El parpadeo o flicker se expresa en términos de un índice denominado P_{ST} para períodos de tiempo cortos. Los P_{ST} se calculan por medio de la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Esta expresión tiene implícita la clasificación de la señal de tensión en una función de distribución acumulada con el objetivo de determinar los parámetros $P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} que corresponden a los niveles de la señal de tensión que están en; 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50% del tiempo, respectivamente.

$$P_{ST1} = 0.198$$

$$P_{ST2} = 0.207$$

$$P_{ST3} = 0.210$$

Los límites de variaciones de tensión permitidos en la norma IEC - 61000 - 3 - 3, para períodos de tiempo cortos, es $P_{ST} \leq 1$. Se puede concluir que los P_{ST} obtenidos se encuentran dentro del límite permisible.

2.7.- Indicador de variaciones de tensión de largo plazo (P_{LT})

Los valores de P_{ST} se utilizaron para el cálculo del índice P_{LT} , para períodos de observación más largos, por medio de la siguiente expresión:



$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{ST_i}^3}{N}}$$

Donde N es la cantidad de períodos para el cálculo de P_{ST} contenidos en el tiempo de observación para el cálculo de P_{LT} .

$$P_{LT1} = 0.199$$

$$P_{LT2} = 0.209$$

$$P_{LT3} = 0.211$$

Los límites de variaciones de tensión permitidos en la norma IEC - 61000 - 3 - 3, para períodos de tiempo largos, es $P_{LT} \leq 0.65$. Los P_{LT} obtenidos se encuentran dentro del límite establecido en la norma.

2.8.- Factor de Cresta

Este factor representa la deformación de la onda senoidal, es la relación del valor máximo entre el valor eficaz de la señal (figura 2.3).

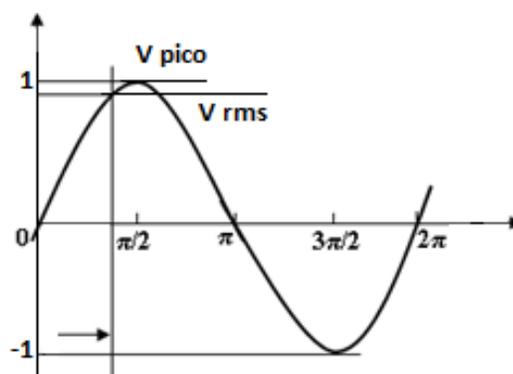


Figura 2.3 Función de una onda senoidal.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



$$F.C. = \frac{V_{\text{pico}}}{V_{\text{rms}}}$$

$$F.C. = \frac{1}{0.7071} = \sqrt{2} \cong 1.4142$$

$$F.C._1 = 1.388$$

$$F.C._2 = 1.390$$

$$F.C._3 = 1.387$$

Dado que el valor del factor de cresta para una onda senoidal es, $F.C. = 1.4142$, los valores obtenidos para las tres fases no cumplen con este criterio. Podemos afirmar que la deformación en la onda senoidal, no es representativa o de cuidado para el sistema eléctrico.

2.9.- Factor “K”

Los transformadores con especificaciones del factor “K” están proyectados para reducir los efectos del calentamiento de las corrientes armónicas creadas por cargas no lineales. Ya que existen varias situaciones que pueden crear condiciones para problemas de armónicos en los transformadores, incluyendo la adición de equipos a un sistema eléctrico existente.

En 1990, la UL (Underwriters Laboratories) desarrolló el método de cálculo para la clasificación del factor K, con el objetivo de evaluar la capacidad que tienen los transformadores de soportar los efectos de los armónicos. El factor K no significa que el transformador puede eliminar los armónicos.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



El método UL se basa en la corriente nominal eficaz "rms" del transformador, se define como:

$$K = \sum_{h=1}^{\infty} I_h (\text{pu})^2 h^2$$

Dónde:

h = Orden del Armónico.

I_h = Corriente rms del armónico expresado en pu de la corriente nominal eficaz del transformador.

$$F.K._1 = 1.116$$

$$F.K._2 = 1.123$$

$$F.K._3 = 1.079$$

El límite establecido del factor K para los transformadores de la ZCU, es $F.K. = 1$ (Basado en la norma ANSI / IEEE C57.110). Con los valores obtenidos de esta dependencia, se puede observar que el transformador no sufre de sobrecalentamiento en los devanados, a causa de los armónicos. Por lo que, no se reduce la vida útil del transformador ni su óptimo funcionamiento.

2.10.- Distorsión armónica total de demanda (DATD)

Las cargas no lineales originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro. Esto puede ser peligroso para algunos equipos y cargas sensibles (por ejemplo; dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, computadoras, etc.), además de los problemas de calentamiento que originan en



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



las líneas y transformadores de distribución. A continuación, se presenta la expresión utilizada para el cálculo de la DATD, expresado en porcentaje.

$$\text{DATD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100$$

Donde:

I_h = Componente de la “h” armónica de corriente.

I_L = Corriente máxima de carga.

h = Numero de armónica, “1” indica la componente de frecuencia fundamental.

$$\text{DATD}_1 = 7.391$$

$$\text{DATD}_2 = 8.298$$

$$\text{DATD}_3 = 5.931$$

Dada la impedancia relativa del sistema, la distorsión armónica máxima permitida en la especificación de CFE, CFE L0000 - 45, es del 12 %, mostrando que el UNIVERSUM está dentro del rango permitido y el sistema se encuentra sin distorsión armónica total en la demanda.

2.11.- Distorsión armónica total de tensión (DATT)

De forma similar se expresa la DATT:

$$\text{DATT} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100$$



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Donde:

V_h = Componente de la “h” armónica de tensión.

V_1 = Componente de la frecuencia fundamental de la tensión.

h = Numero de armónica, “1” indica la componente de frecuencia fundamental.

$$DATT_1 = 1.045$$

$$DATT_2 = 1.150$$

$$DATT_3 = 1.058$$

Dada la impedancia relativa del sistema, la distorsión armónica máxima permitida en la especificación de CFE, CFE L0000 - 45, es del 8 %, indicando que el UNIVERSUM está dentro del rango permisible y el sistema se encuentra sin distorsión armónica total de tensión.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.2 Características de los Transformadores que Conforman la Red Actual de la ZCU.

DEPENDENCIA	CONECTADA A LA RED ACTUAL	CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR [kVA]	DEMANDA [kVA]	PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN	CAPACIDAD PROPUESTA DEL TRANSFORMADOR [kVA]
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	SI	750	122.808	17	150
BODEGON	SI	Alimentado de las Oficinas Administrativas 112.5	28.935	26	50
UNIVERSUM	SI	1000	187.323	19	300
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	SI	1000	123.357	13	225
CINES	SI	Alimentado del Teatro Juan Ruiz de Alarcón 150	26.098	18	75
TEATROS	SI	Alimentado del Teatro Juan Ruiz de Alarcón 225	22.777	11	37.5
SALA NEZAHUALCOYOTL	SI	750	72.893	10	112.5
I.I. FILOSÓFICAS	SI	750	104.160	14	150
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	SI	Alimentado del I.I. Filosóficas 150	23.595	16	50
I.I. FILOLÓGICAS	SI	Alimentado del I.I. Filosóficas 150	23.595	16	50
I.I. SOCIALES	SI	Alimentado del I.I. Filosóficas 150	23.595	16	50
I.I. ECONÓMICAS	SI	750	32.961	5	75
I.I. JURÍDICAS	SI	500	110.219	23	150
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	SI	Alimentado del I.I. Jurídicas 225	25.485	12	50
FONDO RESERVADO	SI	500	29.243	6	50
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	SI	750	86.405	12	150
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	SI	Alimentado de la Unidad Bibliográfica 500	37.711	8	50



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



IISUE	SI	Alimentado de la Unidad Bibliográfica 225	18.798	9	37.5
MUAC	SI	1000	207.150	21	300
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	SI	300	32.403	11	50
DGIRE	SI	300	94.471	32	150
TV UNAM	NO	1250	67.992	6	112.5
COORDINACIÓN DE POSGRADOS I	SI	500	*	*	500
COORDINACIÓN DE POSGRADOS II	SI	1250	*	*	1250
CUEC	NO	500	**	**	500
REGISTRO DE ALUMNOS	NO	***	***	***	150
CENTRO DE CONTROL	NO	***	***	***	112.5
PUBLICACIONES	NO	***	***	***	75
TALLER MECÁNICO	NO	***	***	***	75
ALMACÉN DE BAJAS PATRONATO	NO	***	***	***	75
ALMACENES Y SERVICIOS DIVERSOS	NO	***	***	***	112.5
POLIDEPORTIVO	NO	***	***	***	112.5
	TOTAL	13,437.50		TOTAL	5,287.50

* Dependencia que no está al 100 % de su funcionamiento.

** Dependencia en construcción.

*** Dependencia que no está conectada dentro de la ZCU, tampoco cuenta con una subestación.

Esta se encuentra conectada directamente a una acometida o transformador de CFE.

Se utilizó la siguiente cita bibliográfica, para la capacidad propuesta del transformador [kVA]:
NOM - 002 - SEDE - 1999.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.3 Cálculo de la Corriente de Corto Circuito (I_{cc}) de los Transformadores de las Dependencias de la ZCU.

DEPENDENCIA	CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR [kVA]	TENSIÓN [V]	IMPEDANCIA [%]	I_{cc} TRANSFORMADOR [A]	CORRIENTE MÁXIMA MEDIDA [A]
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	750	220	6.2	31783.432	803.400
BODEGON	112.5	220	3.5	8445.312	148.600
UNIVERSUM	1000	220	3.9	67370.010	1047.000
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	1000	220	4.5	58387.342	718.900
CINES	150	220	4.5	8758.101	133.800
TEATROS	225	220	5.7	10371.436	128.600
SALA NEZAHUALCOYOTL	750	220	5.6	35188.800	543.300
I.I. FILOSÓFICAS	750	220	6.1	32304.472	460.600
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	150	480	5.6	3225.640	102.500
I.I. FILOLÓGICAS	150	480	5.6	3225.640	102.500
I.I. SOCIALES	150	480	5.6	3225.640	102.500
I.I. ECONÓMICAS	750	220	6.6	29857.163	231.600
I.I. JURÍDICAS	500	220	3.8	34571.452	636.800
I.I. HISTÓRICAS Y ESTÉTICAS	225	220	4.35	13590.157	144.400
FONDO RESERVADO	500	220	3.79	34662.670	197.800
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	750	220	8.5	23183.209	728.900
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	500	220	8.5	15455.473	189.800
IISUE	225	220	6.2	9535.030	102.600
MUAC	1000	480	6.62	18190.920	399.900
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	300	220	4.7	16770.832	182.000
DGIRE	300	220	4.6	17135.415	440.900
TV UNAM	1250	220	5.7	57619.087	573.800



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.4 Cálculo de la Impedancia Relativa y Evaluación del Desbalance Máximo Permitido en la Corriente de los Transformadores de la ZCU.

DEPENDENCIA	IMPEDANCIA RELATIVA	DESBALANCE MÁXIMO PERMITIDO EN LA CORRIENTE [%]	DESBALANCE OBTENIDO EN LA CORRIENTE [%]	CUMPLE
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	39.561	8	3.063	SI
BODEGON	56.833	12	7.578	SI
UNIVERSUM	64.346	12	5.724	SI
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	81.218	12	5.769	SI
CINES	65.457	12	12.406	NO
TEATROS	80.649	12	31.961	NO
SALA NEZAHUALCOYOTL	64.769	12	12.370	NO
I.I. FILOSÓFICAS	70.136	12	7.342	SI
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	31.470	8	21.814	NO
I.I. FILOLÓGICAS	31.470	8	21.814	NO
I.I. SOCIALES	31.470	8	21.814	NO
I.I. ECONÓMICAS	128.917	15	12.091	SI
I.I. JURÍDICAS	54.289	12	6.203	SI
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	94.115	12	22.925	NO
FONDO RESERVADO	175.241	15	9.682	SI
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	31.806	8	14.729	NO
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	81.430	12	15.960	NO
IISUE	92.934	12	16.746	NO
MUAC	45.489	8	5.499	SI
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	92.147	12	20.898	NO
DGIRE	38.865	8	6.283	SI
TV UNAM	100.417	15	6.770	SI

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación de los parámetros anteriores:

IEC - 61000 - 4 - 30, IEEE - 1159, IEC - 61000 - 2 - 2, CFE L0000 - 45.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.5 Factor de Potencia y Evaluación del Desbalance Máximo Permitido en la Tensión de los Transformadores de la ZCU.

DEPENDENCIA	DESBALANCE MÁXIMO PERMITIDO EN LA TENSIÓN [%]	DESBALANCE OBTENIDO EN LA TENSIÓN [%]	CUMPLE	FACTOR DE POTENCIA
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	3	0.117	SI	0.960
BODEGON	3	0.097	SI	0.721
UNIVERSUM	3	0.112	SI	0.948
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	3	0.070	SI	0.878
CINES	3	0.053	SI	0.718
TEATROS	3	0.127	SI	0.705
SALA NEZAHUALCOYOTL	3	0.164	SI	0.957
I.I. FILOSÓFICAS	3	0.074	SI	0.956
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	3	0.021	SI	0.809
I.I. FILOLÓGICAS	3	0.021	SI	0.809
I.I. SOCIALES	3	0.021	SI	0.809
I.I. ECONÓMICAS	3	0.218	SI	0.965
I.I. JURÍDICAS	3	0.131	SI	0.979
I.I. HISTÓRICAS Y ESTÉTICAS	3	0.107	SI	0.887
FONDO RESERVADO	3	0.101	SI	0.970
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	3	0.137	SI	0.968
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	3	0.146	SI	0.897
IISUE	3	0.146	SI	0.819
MUAC	3	0.137	SI	0.878
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	3	0.103	SI	0.982
DGIRE	3	0.052	SI	0.977
TV UNAM	3	0.104	SI	0.955

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación de los parámetros anteriores:

IEC - 61000 - 4 - 30, IEEE - 1159, IEC - 61000 - 2 - 2, CFE L0000 - 45.

URL 1.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.6 Evaluación de los P_{ST} y P_{LT} de las Dependencias de la ZCU.

DEPENDENCIA	PST	LÍMITE DE VARIACIÓN PERMITIDO EN $PST \leq 1$	PLT	LÍMITE DE VARIACIÓN PERMITIDO EN $PLT \leq 0.65$
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	0.188	CUMPLE	0.190	CUMPLE
	0.190	CUMPLE	0.192	CUMPLE
	0.199	CUMPLE	0.202	CUMPLE
BODEGON	0.192	CUMPLE	0.194	CUMPLE
	0.205	CUMPLE	0.206	CUMPLE
	0.199	CUMPLE	0.201	CUMPLE
UNIVERSUM	0.198	CUMPLE	0.199	CUMPLE
	0.207	CUMPLE	0.209	CUMPLE
	0.210	CUMPLE	0.211	CUMPLE
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	0.179	CUMPLE	0.181	CUMPLE
	0.200	CUMPLE	0.202	CUMPLE
	0.191	CUMPLE	0.193	CUMPLE
CINES	0.189	CUMPLE	0.190	CUMPLE
	0.247	CUMPLE	0.249	CUMPLE
	0.271	CUMPLE	0.272	CUMPLE
TEATROS	0.176	CUMPLE	0.178	CUMPLE
	0.196	CUMPLE	0.198	CUMPLE
	0.184	CUMPLE	0.185	CUMPLE
SALA NEZAHUALCOYOTL	0.224	CUMPLE	0.228	CUMPLE
	0.203	CUMPLE	0.206	CUMPLE
	0.204	CUMPLE	0.208	CUMPLE
I.I. FILOSÓFICAS	0.195	CUMPLE	0.196	CUMPLE
	0.205	CUMPLE	0.206	CUMPLE
	0.198	CUMPLE	0.200	CUMPLE
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	0.217	CUMPLE	0.218	CUMPLE
	0.201	CUMPLE	0.202	CUMPLE
	0.205	CUMPLE	0.206	CUMPLE
I.I. FILOLÓGICAS	0.217	CUMPLE	0.218	CUMPLE
	0.201	CUMPLE	0.202	CUMPLE
	0.205	CUMPLE	0.206	CUMPLE
I.I. SOCIALES	0.217	CUMPLE	0.218	CUMPLE
	0.201	CUMPLE	0.202	CUMPLE
	0.205	CUMPLE	0.206	CUMPLE



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



I.I. ECONÓMICAS	0.203	CUMPLE	0.206	CUMPLE
	0.193	CUMPLE	0.195	CUMPLE
	0.202	CUMPLE	0.205	CUMPLE
I.I. JURÍDICAS	0.198	CUMPLE	0.199	CUMPLE
	0.184	CUMPLE	0.186	CUMPLE
	0.186	CUMPLE	0.188	CUMPLE
I.I. HISTÓRICAS Y ESTÉTICAS	0.210	CUMPLE	0.212	CUMPLE
	0.206	CUMPLE	0.207	CUMPLE
	0.212	CUMPLE	0.214	CUMPLE
FONDO RESERVADO	0.238	CUMPLE	0.242	CUMPLE
	0.272	CUMPLE	0.278	CUMPLE
	0.243	CUMPLE	0.246	CUMPLE
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	0.185	CUMPLE	0.187	CUMPLE
	0.185	CUMPLE	0.187	CUMPLE
	0.185	CUMPLE	0.189	CUMPLE
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	0.221	CUMPLE	0.233	CUMPLE
	0.227	CUMPLE	0.239	CUMPLE
	0.229	CUMPLE	0.242	CUMPLE
IISSUE	0.219	CUMPLE	0.230	CUMPLE
	0.223	CUMPLE	0.233	CUMPLE
	0.224	CUMPLE	0.234	CUMPLE
MUAC	0.295	CUMPLE	0.298	CUMPLE
	0.305	CUMPLE	0.310	CUMPLE
	0.280	CUMPLE	0.284	CUMPLE
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	0.195	CUMPLE	0.198	CUMPLE
	0.186	CUMPLE	0.192	CUMPLE
	0.180	CUMPLE	0.185	CUMPLE
DGIRE	0.278	CUMPLE	0.281	CUMPLE
	0.257	CUMPLE	0.260	CUMPLE
	0.253	CUMPLE	0.258	CUMPLE
TV UNAM	0.187	CUMPLE	0.189	CUMPLE
	0.194	CUMPLE	0.196	CUMPLE
	0.195	CUMPLE	0.197	CUMPLE

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación de los parámetros anteriores:

IEC - 868, IEC - 61000 - 3 - 3, CFE L0000 - 45.



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



Tabla 2.7 Evaluación del Factor de Cresta y del Factor "K" de los Transformadores de la ZCU.

DEPENDENCIA	FACTOR DE CRESTA	LÍMITE DEL FACTOR DE CRESTA = 1.4142	FACTOR "K"	LÍMITE DEL FACTOR "K" ≤ 7
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	1.388	NO CUMPLE	1.148	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	1.385	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.288	CUMPLE
BODEGON	1.388	NO CUMPLE	1.752	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	1.884	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	1.826	CUMPLE
UNIVERSUM	1.388	NO CUMPLE	1.116	CUMPLE
	1.390	NO CUMPLE	1.123	CUMPLE
	1.387	NO CUMPLE	1.079	CUMPLE
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	1.393	NO CUMPLE	1.232	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.222	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	1.234	CUMPLE
CINES	1.392	NO CUMPLE	6.434	CUMPLE
	1.383	NO CUMPLE	6.764	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	5.884	CUMPLE
TEATROS	1.391	NO CUMPLE	1.489	CUMPLE
	1.387	NO CUMPLE	2.189	CUMPLE
	1.390	NO CUMPLE	1.158	CUMPLE
SALA NEZAHUALCOYOTL	1.392	NO CUMPLE	1.288	CUMPLE
	1.392	NO CUMPLE	1.367	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	1.407	CUMPLE
I.I. FILOSÓFICAS	1.395	NO CUMPLE	1.537	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.225	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.292	CUMPLE
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	1.393	NO CUMPLE	2.008	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.429	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.416	CUMPLE
I.I. FILOLÓGICAS	1.393	NO CUMPLE	2.008	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.429	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.416	CUMPLE
I.I. SOCIALES	1.393	NO CUMPLE	2.008	CUMPLE
	1.388	NO CUMPLE	1.429	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.416	CUMPLE



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



I.I. ECONÓMICAS	1.391	NO CUMPLE	2.226	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	2.171	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	2.928	CUMPLE
I.I. JURÍDICAS	1.389	NO CUMPLE	1.274	CUMPLE
	1.385	NO CUMPLE	1.199	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	1.217	CUMPLE
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	1.390	NO CUMPLE	2.126	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	1.737	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	1.376	CUMPLE
FONDO RESERVADO	1.393	NO CUMPLE	1.117	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.162	CUMPLE
	1.396	NO CUMPLE	1.117	CUMPLE
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	1.397	NO CUMPLE	1.630	CUMPLE
	1.399	NO CUMPLE	1.790	CUMPLE
	1.397	NO CUMPLE	1.355	CUMPLE
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	1.392	NO CUMPLE	1.365	CUMPLE
	1.394	NO CUMPLE	1.414	CUMPLE
	1.391	NO CUMPLE	1.313	CUMPLE
IISUE	1.393	NO CUMPLE	1.958	CUMPLE
	1.393	NO CUMPLE	2.200	CUMPLE
	1.392	NO CUMPLE	1.852	CUMPLE
MUAC	1.410	NO CUMPLE	1.630	CUMPLE
	1.410	NO CUMPLE	1.563	CUMPLE
	1.409	NO CUMPLE	1.679	CUMPLE
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	1.393	NO CUMPLE	1.317	CUMPLE
	1.392	NO CUMPLE	1.249	CUMPLE
	1.389	NO CUMPLE	1.818	CUMPLE
DGIRE	1.389	NO CUMPLE	1.338	CUMPLE
	1.381	NO CUMPLE	1.311	CUMPLE
	1.390	NO CUMPLE	1.276	CUMPLE
TV UNAM	1.391	NO CUMPLE	1.420	CUMPLE
	1.393	NO CUMPLE	1.382	CUMPLE
	1.393	NO CUMPLE	1.482	CUMPLE

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación de los parámetros anteriores:

ANSI / IEEE C57.110, Método U.L. 1561.



Capítulo 2
Calidad de la Energía
de la Zona Cultural
Universitaria: Casos de
Estudio



Tabla 2.8 Evaluación de la Distorsión Armónica Máxima Permitida en la Corriente de los Transformadores de la ZCU.

DEPENDENCIA	IMPEDANCIA RELATIVA	DISTORSIÓN ARMÓNICA MÁXIMA PERMITIDA EN LA CORRIENTE [%]	DISTORSIÓN ARMÓNICA OBTENIDA EN LA CORRIENTE [%]	CUMPLE
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	39.561	8	5.354	NO
			13.868	
			12.189	
BODEGON	56.833	12	20.689	NO
			23.472	
			20.940	
UNIVERSUM	64.346	12	7.391	SI
			8.298	
			5.931	
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	81.218	12	7.315	SI
			7.351	
			7.419	
CINES	65.457	12	35.175	NO
			37.702	
			33.140	
TEATROS	80.649	12	15.013	NO
			34.285	
			8.805	
SALA NEZAHUALCOYOTL	64.769	12	8.809	SI
			9.222	
			9.551	
I.I. FILOSÓFICAS	70.136	12	15.088	NO
			7.481	
			11.624	
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	31.470	8	17.057	NO
			12.722	
			12.322	
I.I. FILOLÓGICAS	31.470	8	17.057	NO
			12.722	
			12.322	



Capítulo 2 Calidad de la Energía de la Zona Cultural Universitaria: Casos de Estudio



I.I. SOCIALES	31.470	8	17.057	NO
			12.722	
			12.322	
I.I. ECONÓMICAS	128.917	15	12.959	NO
			16.309	
			25.510	
I.I. JURÍDICAS	54.289	12	9.486	SI
			7.959	
			7.734	
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	94.115	12	19.673	NO
			15.654	
			13.700	
FONDO RESERVADO	175.241	15	7.537	SI
			9.717	
			7.381	
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	31.806	8	16.542	NO
			17.169	
			14.452	
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	81.430	12	12.646	NO
			12.408	
			12.702	
IISUE	92.934	12	20.213	NO
			26.807	
			19.661	
MUAC	45.489	8	12.796	NO
			12.123	
			13.390	
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	92.147	12	13.169	NO
			9.899	
			12.412	
DGIRE	38.865	8	12.469	NO
			11.848	
			10.951	
TV UNAM	100.417	15	10.641	SI
			8.623	
			11.246	

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación: STD - IEEE 519, CFE L0000 - 45.



Capítulo 2
Calidad de la Energía
de la Zona Cultural
Universitaria: Casos de
Estudio



Tabla 2.9 Evaluación de la Distorsión Armónica Máxima Permitida en la Tensión de los Transformadores de la ZCU.

DEPENDENCIA	DISTORSIÓN ARMÓNICA MÁXIMA PERMITIDA EN LA TENSIÓN [%]	DISTORSIÓN ARMÓNICA OBTENIDA EN LA TENSIÓN [%]	CUMPLE
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	8	1.211	SI
		1.374	
		1.180	
BODEGON	8	1.185	SI
		1.137	
		1.382	
UNIVERSUM	8	1.045	SI
		1.150	
		1.058	
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	8	1.101	SI
		0.948	
		0.995	
CINES	8	1.619	SI
		1.442	
		1.507	
TEATROS	8	1.122	SI
		0.974	
		0.981	
SALA NEZAHUALCOYOTL	8	1.185	SI
		1.310	
		1.098	
I.I. FILOSÓFICAS	8	1.045	SI
		0.792	
		0.856	
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	8	1.143	SI
		0.802	
		0.902	
I.I. FILOLÓGICAS	8	1.143	SI
		0.802	
		0.902	



Capítulo 2
Calidad de la Energía
de la Zona Cultural
Universitaria: Casos de
Estudio



I.I. SOCIALES	8	1.143	SI
		0.802	
		0.902	
I.I. ECONÓMICAS	8	0.769	SI
		0.792	
		0.793	
I.I. JURÍDICAS	8	0.948	SI
		0.893	
		0.896	
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	8	0.983	SI
		0.858	
		0.812	
FONDO RESERVADO	8	0.694	SI
		0.654	
		0.724	
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	8	0.841	SI
		0.981	
		1.013	
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	8	0.825	SI
		0.781	
		0.825	
IISUE	8	0.762	SI
		0.790	
		0.783	
MUAC	8	0.576	SI
		0.514	
		0.479	
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	8	0.788	SI
		0.832	
		0.770	
DGIRE	8	1.397	SI
		1.357	
		1.276	
TV UNAM	8	0.825	SI
		0.738	
		0.875	

Se utilizaron las siguientes normas para la evaluación: STD - IEEE 519, CFE L0000 - 45.



CONCLUSIÓN

La subestación general 3 cuenta con una tensión de distribución de 23 [kV] con una capacidad de 10 [MVA]. Esta subestación suministra de energía eléctrica a 23 de las 32 subestaciones derivadas que conforman a la ZCU. Se encuentra alimentada por medio de una línea aérea por la subestación Odón de Buen de la CFE, ubicada en avenida del IMAN.

1.- Subestaciones derivadas. Se observó que sólo una subestación, además de contar con el equipo de seguridad completo, es la única que cumple con todos los apartados de la NOM 001 SEDE 2012 (INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN)); esta es el MUAC (FLORES *et al.*, 2012).

2.- Demanda y porcentaje de utilización. En la tabla 2.2, se observa el porcentaje de utilización de los transformadores, el 100 % de las dependencias no cumplen con el valor calculado. Esto indica que los transformadores están sobredimensionados y subutilizados, derivando en pérdidas de energía en el cobre y el núcleo del transformador. Para mejorar este parámetro se propone el cambio de los transformadores, a unos de menor capacidad, adecuados para satisfacer la demanda requerida, esta se enlista en la tabla 2.2 (NOM - 002 - SEDE - 1999).

3.- Desbalance máximo permitido en la corriente y desbalance máximo permitido en la tensión. En la tabla 2.4 y 2.5 se muestran los resultados obtenidos del desbalance de la corriente y la tensión, respectivamente. Con respecto al desbalance de tensión, se observa que todas las dependencias cumplen con lo establecido en las normas: IEC - 61000 - 4 - 30, IEEE - 1159, IEC - 61000 - 2 - 2 y la especificación CFE L0000 - 45.



Conclusión



Por otro lado, en el desbalance de corriente, el 50 % de las dependencias no cumplen con lo establecido en las normas y la especificación antes mencionadas. Algunas de las fuentes que causan este desbalance son: luminarias incandescentes e incorporación de nuevas cargas al sistema. Provocando: sobrecalentamientos en los conductores de las líneas, reducción de la vida útil y envejecimiento en los equipos, y surgimiento de corriente de secuencia negativa. Para la corrección del desbalance se recomienda, el reacomodo de cargas en las fases, de tal manera que el desplazamiento entre éstas sea de 120 grados eléctricos y el valor en magnitud sea idéntico (CARRILLO-ROJAS *et al.*, 2014; URL 3; URL 4).

4.- Factor de potencia. En la tabla 2.5 se muestran los resultados, el 50 % de las dependencias cumplen con el valor sugerido por CFE. La existencia de un bajo factor de potencia produce inconvenientes como: calentamiento de cables y embobinados de los transformadores y cargos en la facturación. Todas estas complicaciones se pueden corregir instalando bancos de capacitores, al corregir este, se corregirá el factor de potencia de la S.G. 3, ver Anexo (URL 1; URL 2).

5.- Indicadores de variaciones de tensión de corto plazo (P_{ST}) y de largo plazo (P_{LT}). En la tabla 2.6 se muestran los resultados obtenidos, los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos por las normas: IEC - 868, IEC - 61000 - 3 - 3 y la especificación CFE L0000 - 45 (COMISION NACIONAL DE ENERGIA, 1997; FERREYRA *et al.*, 2013).

6.- Factor “K”. Con base en la norma ANSI / IEEE C57.110 y el Método U.L. 1561, en la tabla 2.7 se enlistan los resultados obtenidos, en su totalidad cumplen con el parámetro permitido. Sin embargo, se propone que al momento de renovar los transformadores, por los propuestos anteriormente en la tabla 2.2, se



Conclusión



contemplan transformadores con un factor “K - 1” (DAUT *et al.*, 2006; ATTIA *et al.*, 2010; YAGCI Y ÜRKMEZ, 2011; ASTORGA *et al.*, 2016; URL 5; URL 6; NOM - 002 - SEDE - 1999).

7.- Distorsión armónica total de tensión (DATT) y Distorsión armónica total de demanda (DATD). En la tabla 2.9 se observan los resultados de la distorsión armónica máxima permitida en la tensión, con base en la norma STD - IEEE 519 y la especificación de CFE, CFE L0000 - 45; se concluye que este parámetro está dentro del rango permitido.

Sin embargo, para la distorsión armónica máxima permitida en la corriente, el 72 % de las dependencias no cumplen con los valores establecidos en la norma y la especificación antes mencionada; estos valores se enlistan en la tabla 2.8. Las principales afectaciones de los armónicos son: sobrecalentamiento y daño de conductores eléctricos, sobrecalentamiento y falla prematura de transformadores, reducción de la eficacia y disparo indeseado de interruptores y relés. Estas afectaciones pueden ser solucionadas con el rateo de los transformadores, ver Anexo (ABB; CADAVID Y GALLEGRO, 2003; RAMÍREZ Y CANO, 2006; ESPERANZA *et al.*).

8.- Factor de cresta. Este factor es un referente, el cual alerta cuando alguno de los parámetros anteriormente mencionados comienza a salir de rango. En la tabla 2.7, se observan los valores obtenidos, el 100 % de las dependencias no cumplen con el valor establecido por la señal senoidal. Estas afectaciones pueden ser solucionadas, corrigiendo los parámetros antes mencionados (NÚÑEZ-PÉREZ, 2013).

Estas son las recomendaciones para la mejora de la calidad de la energía de la ZCU. La información recopilada en el presente trabajo, pretende ser utilizada para realizar mejoras en el sistema eléctrico subterráneo de este campus.



CITAS

Citas bibliográficas

ABB. POWER AND PRODUCTIVITY FOR A BETTER WORLD. CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS N° 8. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS. www.abb.es/bajatension.

ALFARO G. J. C. y SÁNCHEZ M. H. D. “PROPUESTA DE LA SUBESTACIÓN GENERAL 7 DE 23 (KV) PARA ZONA CULTURAL DE CU, UNAM”. TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM. MEXICO D.F. 2015. P.p. 143.

ASTORGA G. J. M., ARÓSTICA C. R. A. Y IRIARTE S. Y. A. K FACTOR ESTIMATION IN DISTRIBUTION TRANSFORMERS USING LINEAR REGRESSION MODELS. TECNURA. 20(48): 29-40, 2016. DOI: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a02.

ATTIA H. A., EL-METWALLY M. Y FAHMY O. M. HARMONIC DISTORTION EFFECTS AND MITIGATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS. JOURNAL OF AMERICAN SCIENCE. 6(10): 173-183. 2010.

CADAVID C. D. R. Y GALLEGRO B. L. F. ARMÓNICOS Y PROBLEMAS DE “POWER QUALITY” EN EL CONDUCTOR DE NEUTRO DE SISTEMAS TRIFÁSICOS. SCIENTIA ET TECHNICA. 9(22): 19-24, 2003. UTP. ISSN 0122-1701.



CARRILLO-ROJAS G., ANDRADE-RODAS J., BARRAGÁN-ESCANDÓN A. Y ASTUDILLO-ALEMÁN A. "IMPACT OF ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY PROGRAMS, CASE STUDY: FOOD PROCESSING COMPANIES IN CUENCA, ECUADOR". DYNA. 81(184): 41-48, 2014. ISSN 2346-2183 Online.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA. NORMA TÉCNICA: INDICES DE SEVERIDAD DE PARPADEO O FLICKER. ARTÍCULO 250° DEL D.S. 327/97, 1997. P.p. 8.

DAUT I., SYAFRUDDIN H. S., ROSNAZRI A., SAMILA M. Y HAZIAH H. THE EFFECTS OF HARMONIC COMPONENTS ON TRANSFORMER LOSSES OF SINUSOIDAL SOURCE SUPPLYING NON-LINEAR LOADS. AMERICAN JOURNAL OF APPLIED SCIENCES. 3(12): 2131-2133, 2006.

ESPERANZA G. M. S., MATA G. J. A. Y CASTAÑEDA R. L. A. LAS CARGAS NO LINEALES, SU REPERCUSIÓN EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SUS SOLUCIONES. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AGUASCALIENTES. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA. NOTA DE DIVULGACIÓN. 1-5.

FERREYRA D. M., GUDIÑO A. D. Y SADA M. A. CALIDAD DE ENERGÍA: MEDICIÓN DE PARPADEO (FLICKER) EN UNA INSTALACIÓN URBANA. GRUPO GISENER. FACULTAD REGIONAL SAN FRANCISCO. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL – U.T.N. ARGENTINA. 2013. P.p. 9.



FLORES E. E. J., NAVA R. E. J. Y RAMÍREZ A. A. “DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE UNA NUEVA RED DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA PARA EL CENTRO CULTURAL UNIVERSITARIO”. TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM. MEXICO D.F. 2012. P.p. 187.

GEORGE J. WAKILEH. “POWER SYSTEMS HARMONICS. FUNDAMENTALS, ANALYSIS AND FILTER DESIGN”. CAP. 5.4 TRANSFORMERS. ED. SPRINGER. PRINTED IN GERMANY, 2001. P.p. 515.

HARO N. D. P. “MEJORA DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EEQ”. TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. ECUADOR, QUITO. 2015. P.p. 144.

NÚÑEZ-PÉREZ R. F. THE TENDENCY OF THE CREST FACTOR HELPS DETECT NASCENT EVENTS; ELECTRONIC CIRCUIT, SOFTWARE AND APPLICATIONS TO SIGNALS FROM DIVERSE FIELDS. INGENIERÍA INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA, 15(1): 63-81, 2014. ISSN 1405-7743 FI-UNAM.

PÉREZ L. R., MONROY C. V. S. y CASTREJÓN M. L. C. “CALIDAD DE LA ENERGÍA REQUERIDA PARA EL CAMPUS UNIVERSITARIO EN EL SIGLO XXI”. TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM. MEXICO D.F. 2008. P.p. 252.

RAMÍREZ C. S. Y CANO P. E. A. CALIDAD DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. MANIZALES. PRIMERA EDICIÓN. 2006. P.p. 373.



Citas



YAGCI M. Y ÜRKMEZ A. THE EFFECTS OF LINEAR AND NON-LINEAR LOAD SON THREE-PHASE TRANSFORMERS SUPPLIED FROM DIFFERENT SOURCES. SCIENTIFIC RESEARCH AND ESSAYS. 6(26): 5513-5522. 2011.

Citas electrónicas

URL 1:

<http://www.cfe.gob.mx/industria/ahorroenergia/lists/ahorro%20de%20energa/attachments/3/factordepotencia1.pdf>

URL 2:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo1.pdf

URL 3:

<https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2005/CE05/CE05.pdf>

URL 4:

http://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Agosto_2011/MURILLO%20MANRIQUE_FIEE/Desequilibrios%20de%20tensiones.pdf

URL 5:

http://www.sidei.cl/pdfs/Factor_K.pdf

URL 6:

<http://www.transformadoresorion.com/factork.html>



URL 7:

http://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/catalogo-de09/cap._5_compensacion_de_energia_reactiva.pdf

Normas

PROY - NOM - 029 - STPS - 2011: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO - CONDICIONES DE SEGURIDAD.

NOM - 001 - SEDE - 2012: INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN).

IEC - 61000 - 4 - 30: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 4-30: TESTING AND MEASUREMENT TECHNIQUES – POWER QUALITY MEASUREMENT METHODS. (2003).

IEEE - 1159: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE FOR MONITORING ELECTRIC POWER QUALITY. (2009).

IEC - 61000 - 2 - 2: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 2-2: ENVIRONMENT - COMPATIBILITY LEVELS FOR LOW-FREQUENCY CONDUCTED DISTURBANCES AND SIGNALLING IN PUBLIC LOW-VOLTAGE POWER SUPPLY SYSTEMS. (2002).



CFE L0000 - 45: COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. DESVIACIONES PERMISIBLES EN LAS FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SUMINISTRO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. (2005).

IEC - 868: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). FLICKERMETER, FUNCTIONAL AND DESIGN SPECIFICATIONS. (1986).

IEC - 61000 - 3 - 3: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). PART 3-3: LIMITS - LIMITATION OF VOLTAGE CHANGES, VOLTAGE FLUCTUATIONS AND FLICKER IN PUBLIC LOW-VOLTAGE SUPPLY SYSTEMS, FOR EQUIPMENT WITH RATED CURRENT ≤ 16 A PER PHASE AND NOT SUBJECT TO CONDITIONAL CONNECTION. (2013).

ANSI / IEEE C57.110: AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE FOR ESTABLISHING LIQUID-FILLED AND DRY-TYPE POWER AND DISTRIBUTION TRANSFORMER CAPABILITY WHEN SUPPLYING NONSINUSOIDAL LOAD CURRENTS. (2008).

MÉTODO UNDERWRITERS LABORATORIES (U.L.) 1561.

STD - IEEE 519: STANDARDS - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. RECOMMENDED PRACTICE AND REQUIREMENTS FOR HARMONIC CONTROL IN ELECTRIC POWER SYSTEMS. (2014).



Citas



NOM - 002 - SEDE - 1999: NORMA OFICIAL MEXICANA, "REQUISITOS DE SEGURIDAD Y EFICIENCIA ENERGETICA PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION".



APÉNDICE

EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO

A continuación se describen las características del analizador de calidad de potencia trifásico, utilizado en la ZCU, así como los pasos a seguir para su configuración y posterior descarga de los datos recopilados para su análisis.

Analizador de calidad de potencia trifásico

El analizador de calidad de potencia trifásica es usado para realizar trabajo de diagnóstico y calidad de potencia en redes de bajo voltaje monofásico, bifásico y trifásico.

Con este equipo se pueden obtener formas de onda instantáneas de los principales parámetros de una red eléctrica y también monitorear sus variaciones en el tiempo. El sistema de medición de multitareas con el que frecuentemente cuentan los analizadores maneja simultáneamente todas las funciones de medición y presentación de formas de onda de las diferentes magnitudes, su detección, su registro continuo y su presentación.

Características:

- Medición de voltajes RMS para sistemas de dos, tres o cuatro hilos.
- Medición de corrientes RMS.
- Medición de frecuencia.
- Cálculo de corriente del neutro en configuraciones Y.



Apéndice



- Cálculo de Factores de Cresta de corriente y voltaje.
- Cálculo de factor K en Transformadores.
- Cálculo de parpadeos de voltaje de corta duración.
- Cálculo de desbalance de fases en voltaje y corriente, en sistemas de 3 fases.
- Medición de ángulos y razones de armónicos referidos a la fundamental o al valor RMS de voltaje, corriente o potencia.
- Cálculo de factores de distorsión armónica total.
- Monitoreo del valor promedio de cualquier parámetro, calculado en diversos periodos.
- Medición de la potencia activa, reactiva y aparente, por fase y su respectiva suma.
- Cálculo del factor de potencia, factor de potencia de desplazamiento y factor de tangente.
- Potencia total en un instante de tiempo.
- Registro, marcación en el tiempo y caracterización de perturbaciones como: caídas e interrupciones, superación de umbrales de potencia y de armónicos.
- Detección de transitorios y registro de las formas de onda asociadas.

Funciones de los controles

En la figura A, se muestran las partes principales del analizador de calidad de potencia; el cual se utiliza para el estudio y realización de esta tesis.

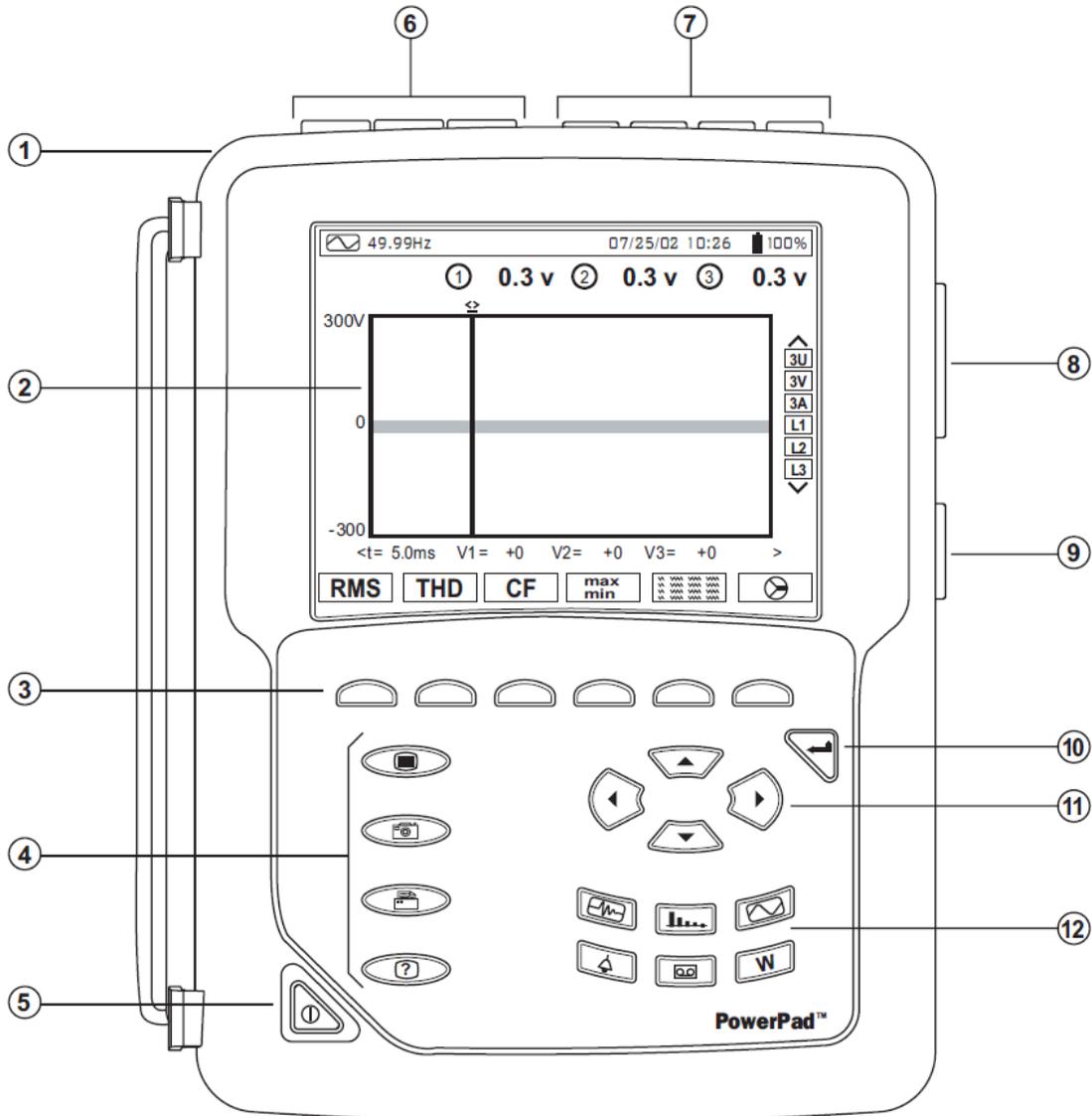


Figura A. Analizador de Calidad de Potencia Trifásico.

Donde:

1. Caja protectora.
2. Pantalla LCD a color, con presentación gráfica de parámetros del sistema y mediciones.



Apéndice



3. Botones de funciones, usados para cambiar el modo de presentación.

4. Botones de funciones, que permiten al usuario lo siguiente:



Acceder a los parámetros de ajuste del Instrumento.



Tomar una foto instantánea de la pantalla actual o acceder a pantallas ya almacenadas en la memoria. Registrar formas de onda asociadas y datos de mediciones de potencia.



Imprimir los resultados de medición en una impresora externa.



Obtener ayuda sobre la función actual, en el lenguaje elegido por el usuario.

5. Botón Encendido/Apagado.

6. Entradas de corriente.

7. Entradas de voltaje.

8. Salida ópticamente aislada bidireccional, para la transferencia de datos a una PC.

9. Alimentación de línea CA.

10. Botón Ingresar.

11. Botones que permiten el movimiento del cursor, recorrer y seleccionar los datos.

12. Botones para tener acceso directo a los 6 modos de presentación en cualquier momento:



Apéndice



Transitorios:

- Presenta formas de onda asociadas a cambios rápidos en la entrada.



Armónicos:

- Presentación de los armónicos en porcentaje y razones de valores para voltaje, corriente y potencia.
- Determinación de corrientes armónicas producidas por cargas no-lineales.
- Análisis de los problemas producidos por los armónicos según su orden: Calentamiento de los neutros, conductores, motores, etc.



Formas de Onda:

- Presenta formas de onda del voltaje y de la corriente o presentación Fasorial.
- Identificación de distorsiones características de la señal.
- Presentación de la amplitud, desbalance de fases del voltaje y de la corriente.
- Comprobación del orden correcto de las fases en conexiones.



Potencia / Energía:

- Presentación de niveles de potencia y sus parámetros asociados: Factor de potencia, desplazamiento y tangente.
- Monitoreo de energía.



Apéndice



- Medición a cuatro cuadrantes para discernir entre energías activas producidas/consumidas y energías reactivas inductivas/capacitivas.



Registrar:

- Presentación en función del tiempo en forma de gráficos de barras o gráficos de línea, de los niveles de potencia promedio o del valor promedio de cualquier parámetro.
- Gráficos de línea vs tiempo de cada parámetro seleccionado.
- Comprobación de la estabilidad del voltaje de línea.
- Administración de potencia consumida y generada.
- Monitoreo de variaciones de armónicos.



Eventos de Alarma:

- Proporciona una lista de las alarmas registradas, según los umbrales programados durante la configuración.
- Registro de las interrupciones con una resolución de medio ciclo.
- Determinación de los excesos de energía consumida.
- Almacena: Valor, duración, fecha, hora y punto de ajuste de hasta 4096 eventos.

Display

El display de LCD muestra los parámetros que este pueden medir, para un estudio de la calidad de la energía en una red eléctrica, la figura B muestra estos parámetros y se da una descripción de los mismos.

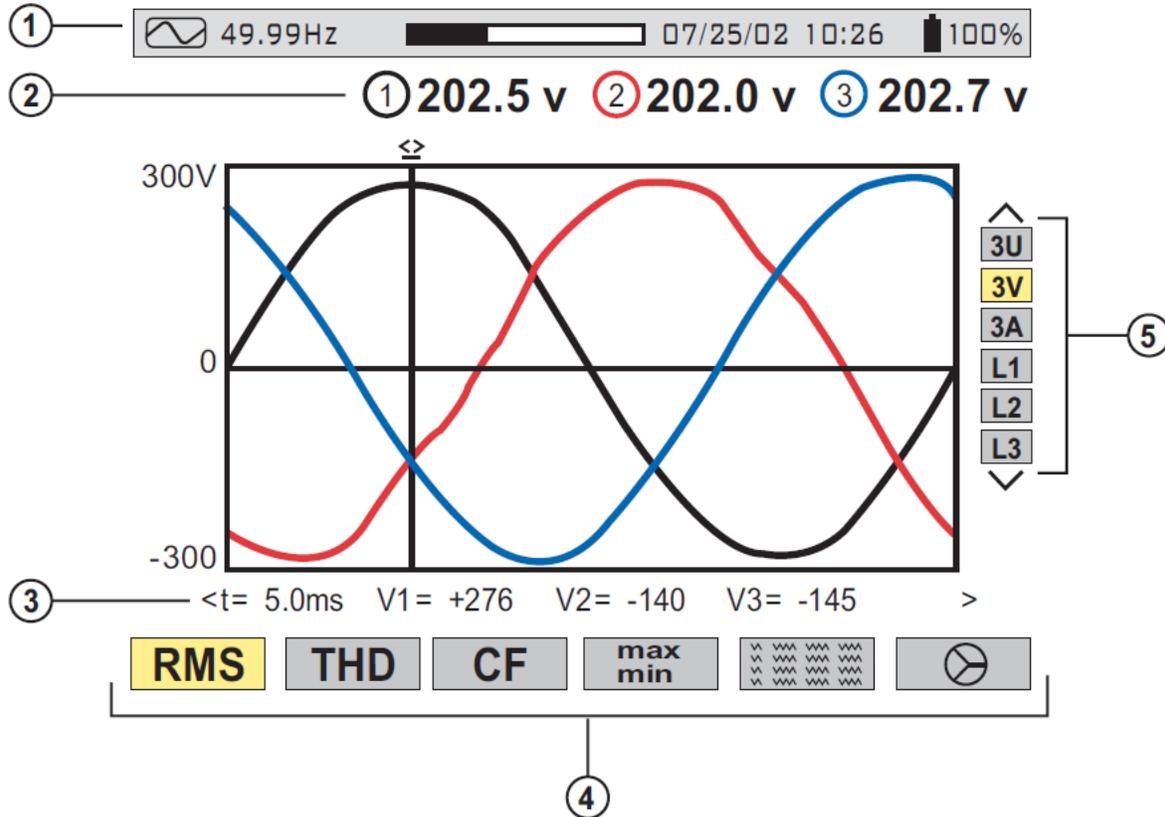


Figura B. Display del Analizador de Calidad de Potencia Trifásico, Utilizado en la Zona Cultural Universitaria, donde: U es voltaje fase a fase. V es voltaje fase a neutro. L1, L2, L3 son las fases A, B y C.

Dónde:

1. La barra superior del display indica:

- Símbolo de la señal medida.
- Frecuencia de la señal medida.
- Barra de estado de la capacidad de memoria.
- Fecha y hora actual.
- Estado de carga de la batería.



Apéndice



2. Los valores RMS medidos, asociados a las formas de onda.
3. Los valores de las señales en un instante “t”, en la intersección del cursor con las formas de onda. El cursor puede desplazarse a lo largo de la escala de tiempo presionando los botones .
4. La selección de la medición:
 - RMS: Medición del valor efectivo RMS.
 - THD: Distorsión Armónica Total.
 - CF: Factor de Cresta.
 - Max/Min: Valores Máximos y Mínimos.
 -  Presentación simultánea de las diferentes mediciones en forma alfanumérica.
 -  Diagrama de fasores.
5. La selección de la forma de onda y para desplazarse con 
 - **3U** presenta los 3 voltajes fase a fase U1-2, U2-3, U3-1.
 - **3V** presenta los 3 voltajes fase a neutro V1N, V2N, V3N.
 - **3A** presenta las 3 corrientes de fase.
 - **4A** presenta las 3 corrientes de fase y la corriente de neutro.
 - **L1, L2 o L3** presenta el voltaje y la corriente de la fase 1,2 o 3 que se elija.

Especificaciones técnicas

A continuación se describen las especificaciones técnicas para el funcionamiento del analizador de calidad de potencia trifásico.



Eléctricas

La frecuencia de muestreo es de 256 muestras por ciclo:

- 15.36kHz muestras/segundo, por canal a 60Hz.
- El tamaño de la memoria es de 4MB.

El rango de Operación Fase-Fase es de 960Vrms CA/CD, de Fase-Neutro es de 480Vrms CA/CD y la impedancia de entrada es 340k Ω entre fase y neutro.

- Sobrecarga: 1.2Vn permanentemente; 2Vn por 1 segundo, donde Vn=voltaje nominal.

Rango de operación

Los rangos de operación del analizador de calidad de potencia trifásico son los siguientes:

- Frecuencia: 40 a 69Hz.
- Armónicos: THD (I): 0 a 40%. THD (U): 0 a 20%.
- Campo Magnético: <40.0A/m.
- Campo Eléctrico: <3V/m.
- Humedad Relativa: 10 a 90% sin condensación.



Alimentación

La fuente de poder interna, se alimenta en CA:

- Rango de Operación: 230VCA \pm 20% y 110VCA \pm 20%.
- Potencia Máxima: 30VA.

La alimentación por Batería se activa en caso de apagón:

- Tipo: NiMH 3800 mAh.
- Salida: 4-hilos.
- Voltaje: 9.6V.
- Tiempo de Carga: 3 h. 30 min. aproximadamente.
- Vida de la Batería: >8 h. con el display encendido o \leq 35 h. con el display apagado.
- Temperatura de Operación: 0° a 50°C.
- Temperatura de Recarga: 10° a 40°C.
- Temperatura de Almacenamiento: -20 a +50°C por \leq 30 días.

Mecánicas

Las dimensiones del analizador: 9.5 x 7.0 x 2.0" (240 x 180 x 55 mm), tiene un peso de 2.1 kg. Altitud para su óptimo funcionamiento:

- En Operación: 0 a 2000 m.
- Sin Operación: 0 a 10,000 m.



Sensor de Corriente CA

El rango nominal de operación es de 1000A CA, para $f \leq 1\text{kHz}$. Su rango de medición es de 3A a 1200A CA máximo ($I > 1000\text{A}$ no continuamente).

Con este sensor las corrientes $< 0.5\text{A}$ se mostrarán como cero en el Instrumento.

Software de análisis

El software del analizador permite configurar y realizar cualquier ensayo o registro desde una computadora de igual forma como lo haría desde el instrumento mismo.

Adicionalmente, el software aumenta la información capturada mediante fotos instantáneas, incluye varias plantillas predefinidas para hacer y personalizar los informes, formas de onda y espectros de armónicos de los datos capturados.

Este sistema cuenta con un programa de ayuda en línea, dispone de información sobre las funciones específicas disponibles en este software. El software realiza cuatro funciones principales:

- Configuración desde la computadora.
- Inicia un ensayo con registro desde la computadora.
- Almacena los resultados de un ensayo e imprimir informes de estos.
- Ver y almacenar datos en tiempo real.



Características

Este software tiene una interface simple y fácil de usar para configurar y realizar ensayos, como también imprimir informes de los resultados de los ensayos. A continuación se listan las características más utilizadas:

- Configura y presenta las funciones del analizador de calidad de potencia.
- Realiza ensayos desde una computadora.
- Visualiza y captura datos en tiempo real.
- Extraer datos desde la memoria del instrumento.
- Realiza gráficas de la información registrada.
- Presenta informes, incluyendo el análisis en la sección comentarios.
- Almacena una biblioteca de ajustes para diferentes aplicaciones.
- Proporciona consistencia en los ensayos, independiente de quien realice la prueba.

Requerimientos mínimos de la computadora

Los requerimientos mínimos necesarios de la computadora a emplear para descargar los datos obtenidos del analizador de calidad de potencia trifásico son:

- Windows 2000/XP.
- 128 MB (256 MB - Windows XP) de RAM (256 MB o más recomendados).
- 50 MB de espacio en disco duro (200 MB recomendados).
- Lector CD-ROM.



Conexión del analizador de calidad de potencia trifásico a la computadora

El analizador se conecta por medio de un cable de interface serial ópticamente aislado, el cual es necesario para conectar el instrumento a la computadora. Este cable está equipado con un conector de 9 patas en un extremo y un conector óptico en el otro extremo.

Para conectar el analizador de calidad de potencia a una computadora:

- El conector óptico del cable se debe conectar al puerto serial del analizador de calidad de potencia.
- El conector de 9 patas del cable se debe conectar a un puerto serial disponible en la computadora. Si la computadora no tiene un puerto serial, puede usar un convertidor serial a USB.

Uso del software

Una vez completada la conexión serial entre la computadora y el analizador de calidad de potencia como se describió en el punto anterior, se debe iniciar el software. La forma de abrirlo y usarlo es la siguiente:

- Hacer doble click en el icono del programa ubicado sobre el escritorio, el cual se creó durante la instalación.
- Se abrirá el programa y se mostrará la ventana de Inicio Rápido.
- Hacer click en el botón Configurar Instrumento y aparecerá la ventana de Conexión.



Apéndice



El cuadro de diálogo de inicio rápido contiene las siguientes opciones:

1. Configurar Instrumento: Abre un panel de control específico del instrumento mostrando un cuadro de diálogo, Configurar Instrumento. Este cuadro de diálogo permite modificar la configuración.
2. Presentación en Tiempo Real: Abre un panel de control del instrumento proporcionando una presentación en tiempo real de los datos de medición.
3. Descargar Datos: Abre un panel de control del instrumento e inicia la descarga de los datos registrados.
4. Abrir Archivo de Datos: Muestra el cuadro de diálogo, usando una plantilla predefinida o personalizada por el usuario.

Configuración del instrumento

Para configurar el instrumento, es necesario seguir los pasos siguientes:

- Hacer click en el botón configurar instrumento. Si no se ha establecido una conexión anteriormente, aparecerá el cuadro de dialogo comunicación que permita seleccionar la velocidad de comunicación y el puerto serial.
- Asegurar que el puerto serial que aparece en el cuadro de conexión coincide con el puerto al cual se conectó el cable serial.
- La velocidad debe ser ajustada a la velocidad del modelo del analizador, para ello se debe:
 1. Encender el analizador de calidad de potencia.
 2. Presionar el botón de menú.
 3. Recorrer hacia abajo con el botón, hasta llegar a “velocidad de comunicación”.



4. Presionar el botón Ingresar y leer la velocidad.
 5. Ajustar la lectura a 115200.
- Una vez especificados los parámetros de comunicación apropiados, hacer click en aceptar. Esta pantalla muestra:
 1. El estado del Programa.
 2. Si hay comunicación entre el programa y el analizador de calidad de potencia.
 3. Los puertos de comunicación y velocidad de conexión.
 4. El número del Modelo, número de serie y versión.
 5. El nivel de carga de la batería, si la batería se está cargando o se encuentra llena y la hora en el reloj.
 6. Si hay una grabación en curso y cuando está programada para que esta termine.
 7. Si hay programada una grabación para más tarde y cuando está programada que se inicie.
 8. Formas de onda en tiempo real e información de tendencia del estudio realizado.

Configuración de los ajustes

El cuadro de diálogo de ajustes permite configurar cada aspecto del analizador de calidad de potencia.

- Energía Reactiva con o sin armónicos.
- Frecuencia de Línea 60Hz, este parámetro determina los coeficientes de corrección usados para el cálculo de Potencia y Energía.



- Tipo de Conexión: Monofásica, Bifásica, Trifásica-3 hilos o Trifásica-4 hilos.
- Relación del Transformador de Tensión: Ajustar la escala para la medición de voltaje en aquellos casos, que las mediciones son en el lado secundario del transformador y se requiere presentar el valor del primario.
- Ajuste del Reloj: Programar la hora y fecha en la configuración del analizador de calidad de potencia con la de la computadora.

Configuración de la pantalla

La ventana de pantalla, del analizador de calidad de potencia permite personalizar: colores, relojes, idioma y contraste.

Configuración de registros

La ventana de Registro muestra el cuadro de diálogo que se usa para configurar los parámetros en una sesión de grabación. Se dispone de tres configuraciones diferentes. Se pueden guardar más configuraciones presionando el botón “Guardar al Archivo” y consultarlas después presionando el botón “Cargar desde el Archivo”.

- Marcar la configuración que desea ajustar: 1, 2, 3 o 4.
- Marcar todos los parámetros que desea registrar haciendo click en cada uno.
- Configurar los valores de armónicos a registrar.



Configuración de transitorios

La ventana de Transitorios permite ajustar los criterios para la captura de los mismos.

- Escribir un nombre para la sesión, de hasta siete caracteres.
- Seleccionar la fecha y hora para terminar la búsqueda de transitorios.
- Seleccionar el porcentaje de desviación para los transitorio de voltaje y corriente. Las opciones disponibles en la ventana desplegable son 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100% de la escala completa del rango de medición.
- Seleccionar el número máximo de transitorios a capturar, esta puede ir de 1 a 50.

Realizar la medición

Después de configurar el instrumento, se presiona “Aceptar”. La ventana de estado mostrará si se está listo para iniciar una grabación.

Descargar: extraer datos desde la memoria del analizador de calidad de potencia para almacenarlos en la computadora.

Forma de onda, barra de armónicos y texto de armónicos

En cada pantalla, se podrá:

- Seleccionar el tipo de datos que desea ver.
- Detener la actualización con la función Mantener.
- Imprimir la pantalla seleccionada.



- Guardar en disco.

Potencia y Energía

La pantalla Potencia/Energía presenta los datos de Potencia y Energía acumulados.

Los datos acumulados de Energía pueden ser iniciados o detenidos y los resultados pueden ser descargados a una base de datos y vistos, por fase, en la pantalla.

Tendencia

El analizador de calidad de potencia muestra una tendencia de los datos, en tiempo real. Los datos son un promedio de las formas de onda descargadas al PC. Puede haber 1 forma de onda cada 2.6 segundos.

Descargar datos a la base de datos

En el menú, se debe seleccionar “datos” para descargar los datos registrados.

- Seleccionar los datos a descargar haciendo click en: Registros, Fotografías, Alarmas, Transitorios o Potencia/Energía; luego hacer click en el nombre de archivo.
- Seleccionar “Guardar”.



Apéndice



- Escribir un nombre para el archivo descargado y hacer click en “Aceptar”. Puede ser guardado como una base de datos o como un archivo, para ser visto en un programa de hojas de cálculo.
- Alternativamente, seleccionar “Ver”. Después de completada la descarga, aparecerá una ventana con un gráfico de los datos y algunas opciones de vistas. En esa ventana, se puede seleccionar “Guardar” o “Imprimir”.
- En la vista de árbol del instrumento, expandir las secciones dentro de “Datos registrados desde el Instrumento”, luego hacer click sobre una línea que describe el dato registrado. Aparecerá una ventana con un gráfico de los datos.

A continuación hay algunos ejemplos que aparecen en la ventana de display.

Registros

La ventana Registros presenta una lista de eventos y mediciones almacenados. Estos registros pueden ser seleccionados y descargados a una base de datos.

Fotografías

La ventana Fotografías presenta una lista de imágenes tomadas por el analizador de calidad de potencia. Muestra la fecha y la hora en que se presionó el botón de la cámara.



ANEXO

Rateo

Se realizó el cálculo del rateo para los transformadores, para este se utilizó la siguiente expresión (GEORGE J. WAKILEH, 2001).

$$D = \frac{1.15}{1 + (0.15 * K)}$$

Dónde:

K = Factor "K" del transformador.

Con estos valores, se obtiene la capacidad máxima a utilizar de cada transformador, con el fin de evitar sobrecalentamiento de los devanados, a causa de los armónicos.

Capacidad propuesta de los bancos de capacitores (Qc)

El cálculo de este parámetro, se obtuvo con el producto de la potencia activa multiplicado por el coeficiente C (Obtenido de la tabla URL 7).

$$Qc = P * C$$

Dónde:

P = Potencia activa [kW].

C = Coeficiente C.



Anexo



Este parámetro corrige el factor de potencia. Para fines del presente estudio, se estableció un $F.P \geq 0.93$.

En la siguiente tabla se enlistan los resultados obtenidos.

Tabla I Evaluación del Factor de Rateo y Capacidad Propuesta de los Bancos de Capacitores de la ZCU.

DEPENDENCIA	FACTOR DE RATEO	CAPACIDAD PROPUESTA DE LOS BANCOS DE CAPACITORES [VAR]
OFICINAS ADMINISTRATIVAS	0.981	
	0.952	
	0.964	
BODEGON	0.911	1,419.432
	0.897	
	0.903	
UNIVERSUM	0.985	
	0.984	
	0.990	
TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCÓN	0.971	6,644.704
	0.972	
	0.970	
CINES	0.585	1,836.372
	0.571	
	0.611	
TEATROS	0.940	1,588.02
	0.866	
	0.980	
SALA NEZAHUALCOYOTL	0.964	
	0.954	
	0.950	
I.I. FILOSÓFICAS	0.935	
	0.971	
	0.963	



Anexo



COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	0.884	643.97
	0.947	
	0.949	
I.I. FILOLÓGICAS	0.884	643.97
	0.947	
	0.949	
I.I. SOCIALES	0.884	643.97
	0.947	
	0.949	
I.I. ECONÓMICAS	0.862	
	0.867	
	0.799	
I.I. JURÍDICAS	0.965	
	0.975	
	0.972	
I.I. HISTORICAS Y ESTÉTICAS	0.872	298.298
	0.912	
	0.953	
FONDO RESERVADO	0.985	
	0.979	
	0.985	
UNIDAD BIBLIOGRÁFICA	0.924	
	0.907	
	0.956	
HEMEROTECA Y BIBLIOTECA NACIONAL	0.955	558.09
	0.949	
	0.961	
IISUE	0.889	470.470
	0.865	
	0.900	
MUAC	0.924	10,326.192
	0.932	
	0.919	
POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA	0.960	
	0.969	
	0.904	



Anexo



DGIRE	0.958	
	0.961	
	0.965	
TV UNAM	0.948	
	0.953	
	0.941	

Se utilizaron las siguientes referencias para la evaluación de los parámetros anteriores:

ANSI / IEEE C57.110, Método U.L. 1561, URL 7, GEORGE J. WAKILEH, 2001.