



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Caracterización de la calidad de la energía eléctrica mediante monitoreos de parámetros eléctricos en dependencias de la UNAM, según su actividad preponderante**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero eléctrico electrónico**

**P R E S E N T A N**

Carlos Alberto Morales Vidal

René García Jiménez

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. Iván Urzúa Rosas



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx, 2016**



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.

## CONTENIDO

---

---

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>V</b>
<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 CORRIENTE ALTERNA .....	4
2.2.2 TENSIÓN .....	5
2.2.3 IMPEDANCIA .....	6
2.2.4 TIPOS DE CARGA ELÉCTRICA .....	7
2.2.5 POTENCIA.....	10
<b>3 DISTURBIOS ELÉCTRICOS</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 VARIACIONES DE TENSIÓN</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 INTERRUPCIONES DE ENERGÍA.....	15
<b>3.2 DESBALANCE DE TENSIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA</b> .....	<b>19</b>
3.3.1 RUIDO ELÉCTRICO .....	19
3.3.2 DISTORSIÓN ARMÓNICA .....	19
<b>3.4 VARIACIÓN DE FRECUENCIA</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5 FACTOR DE POTENCIA</b> .....	<b>21</b>
<b>4 ARMÓNICOS</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 ORIGEN</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2 VALORES DE DISTORSIÓN</b> .....	<b>27</b>
4.2.1 LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE.....	27
4.2.2 LÍMITES DE DISTORSIÓN EN TENSIÓN.....	28
<b>4.3 CONSECUENCIAS</b> .....	<b>29</b>
4.3.1 PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LOS ARMÓNICOS.....	29
<b>5 TÉCNICAS PARA ATENUAR LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS</b> .....	<b>30</b>
<b>6 DEPENDENCIAS MONITOREADAS</b> .....	<b>34</b>
<b>6.1 DATOS GENERALES DE LAS DEPENDENCIAS</b> .....	<b>34</b>
<b>6.2 PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS</b> .....	<b>38</b>
6.2.1 EQUIPOS ANALIZADORES.....	39

6.2.2 CONFIGURACIÓN .....	40
<b>6.3 INTERPRETACIÓN DEL MONITOREO .....</b>	<b>41</b>
6.3.1 NORMATIVIDAD .....	42
<b><u>7 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS.....</u></b>	<b><u>43</u></b>
7.1 DEMANDA.....	43
7.2 TENSIÓN.....	45
7.3 DESBALANCE DE TENSIÓN .....	46
7.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA EN TENSIÓN .....	47
7.5 CORRIENTE .....	48
7.6 DESBALANCE EN CORRIENTE.....	50
7.7 DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTE .....	51
7.8 FACTOR DE POTENCIA.....	53
7.9 FRECUENCIA.....	54
<b><u>8 CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b><u>9 BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>	<b><u>58</u></b>
<b><u>10 ANEXO A. GRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>60</u></b>
DEMANDA.....	60
VARIACIONES DE TENSIÓN .....	61
DISTORSION ARMONICA EN TENSION .....	66
FRECUENCIA .....	67
VARIACIONES DE CORRIENTE.....	69
DISTORSION ARMONICA EN CORRIENTE.....	70
FACTOR DE POTENCIA .....	71
<b><u>11 ANEXO B. CALCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN.....</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b><u>12 ANEXO C. FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD.....</u></b>	<b><u>76</u></b>
VARIACIÓN DE TENSIÓN.....	78
DESBALANCE DE TENSIÓN.....	79
DISTORSION ARMONICA EN TENSION .....	80
FRECUENCIA.....	81
DESBALANCE DE CORRIENTE .....	82
DISTORSION ARMONICA EN CORRIENTE.....	83
FACTOR DE POTENCIA.....	84
<b><u>GLOSARIO.....</u></b>	<b><u>85</u></b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 FORMA IDEAL DE UNA ONDA SENOIDAL DE CORRIENTE.....	4
FIGURA 2.2. ONDA FUNDAMENTAL Y SUS ARMÓNICAS.....	4
FIGURA 2.3 FORMA IDEAL DE UNA ONDA SENOIDAL DE TENSIÓN. (Torres, 2010).....	5
FIGURA 2.4 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN FASE. ..	7
FIGURA 2.5 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE UNA CARGA CAPACITIVA .....	8
FIGURA 2.6 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE UNA CARGA INDUCTIVA.....	8
FIGURA 2.7 CIRCUITO BÁSICO RESISTIVO-INDUCTIVO. ....	10
FIGURA 2.8 DIAGRAMA FASORIAL DE UN CIRCUITO RLC CAPACITIVO E INDUCTIVO.....	11
FIGURA 3.1 DISTURBIOS ELÉCTRICOS MÁS FRECUENTES. (IEEE-1159, 1995).....	14
FIGURA 3.2 INTERRUPCIÓN MOMENTÁNEA.....	16
FIGURA 3.3 REPRESENTACIÓN FASORIAL DE UN SISTEMA TRIFÁSICO .....	17
FIGURA 3.4 REPRESENTACIÓN DE SECUENCIAS POSITIVA, NEGATIVA Y HOMOPOLAR O CERO.....	17
FIGURA 3.5 SISTEMA TRIFÁSICO SIMÉTRICO CON CARGA DESBALANCEADA .....	18
FIGURA 3.6 FACTOR DE REDUCCIÓN DE POTENCIA (NEMA).....	19
FIGURA 3.7 TRIÁNGULO DE POTENCIAS. ....	21
FIGURA 4.1 REPRESENTACIÓN EN SERIE DE FOURIER DE UNA ONDA DISTORSIONADA (Harper, 1999)	26
FIGURA 4.2 EJEMPLO DE ESPECTRO ARMÓNICO (Baggini, 1998) .....	26
FIGURA 5.1 EJEMPLO DE TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO COMERCIAL.....	31
FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE UN FILTRO DE ARMÓNICO INTEGRADO EN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA. ..	31
FIGURA 5.3 ACONDICIONADORES DE LÍNEA .....	32
FIGURA 5.4 DIAGRAMA DE CONMUTADOR (TRANSFER) USADO EN UN UPS TIPO ON-LINE.....	33
FIGURA 6.1 PUNTO DE INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES (SUBESTACIÓN) EN EL C. C. I. Q. S. .	35
FIGURA 6.2 PLACA DE DATOS DE TRANSFORMADOR DEL EDIFICIO D DE LA FACULTAD DE QUÍMICA. ....	35
FIGURA 6.3 EDIFICIO DE LA RECTORÍA DE LA UNAM, CIUDAD UNIVERSITARIA.....	36
FIGURA 6.4 PALACIO DE LA AUTONOMÍA, CENTRO HISTÓRICO. ....	36
FIGURA 6.5 HT ITALIA VEGA 78.....	39
FIGURA 6.6 HT ITALIA PQA 824. ....	39
FIGURA 6.7 ANALIZADOR DE REDES AEMC.....	39
FIGURA 6.8 CONEXIÓN DEL ANALIZADOR EN UN SISTEMA MONOFÁSICO. ....	40
FIGURA 6.9 CONEXIÓN EN UN SISTEMA TRIFÁSICO A 4 HILOS.....	40
FIGURA 6.10 CONEXIÓN EN UN SISTEMA TRIFÁSICO A 3 HILOS .....	40
FIGURA 6.11 MENÚ GENERAL (HT ITALIA).....	41
FIGURA 6.12 PANTALLA CONFIGURACIÓN REGISTRO (HT ITALIA).....	41
FIGURA 7.1 POTENCIA DISPONIBLE EN INSTITUTO DE BIOLOGIA .....	44
FIGURA 7.2 ESPECTRO ARMÓNICO POR FASE CONSEJOS ACADÉMICOS.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4.1. LÍMITES PERMISIBLES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTE. (CFE-L0000-45).....	28
TABLA 4.2 LÍMITES PERMISIBLES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN TENSIÓN (CFE-L0000-45).....	29
TABLA 6.1 DATOS GENERALES DE LAS DEPENDENCIAS MONITOREADAS .....	34
TABLA 6.2 DATOS DE MONITOREOS. ....	37
TABLA 7.1. DEMANDAS REGISTRADAS.....	43
TABLA 7.2 VALORES DE TENSIÓN REGISTRADOS.....	45
TABLA 7.3 DESBALANCE TOTAL EN TENSIÓN POR ACTIVIDAD PREPONDERANTE.....	46
TABLA 7.4 DATT REGISTRADAS.....	47
TABLA 7.5 CORRIENTES REGISTRADAS.....	48
TABLA 7.6 ANÁLISIS DE CONDUCTORES.....	49
TABLA 7.7 DTC REGISTRADA.....	50
TABLA 7.8 DATC REGISTRADA.....	51
TABLA 7.9 FACTOR DE POTENCIA REGISTRADO.....	53
TABLA 7.10 FRECUENCIAS REGISTRADAS .....	54
Tabla 8.1 VALORES CARACTERÍSTICOS.....	55
TABLA 10.1 ANOMALÍAS DE TENSIÓN, CCIQS. ....	62

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 10.1 DEMANDA, INSTITUTO DE BIOLOGÍA.....	60
GRÁFICA 10.2 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN CCIQS.....	61
GRÁFICA 10.3 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN IIB.....	63
GRÁFICA 10.4 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN, RECTORIA.....	65
GRÁFICA 10.5 DISTORSION ARMONICA TOTAL EN TENSIÓN, ACAD. DE SAN CARLOS.....	66
GRÁFICA 10.6 COMPORTAMIENTO DE LA FRECUENCIA EN CCIQS.....	67
GRÁFICA 10.7 COMPORTAMIENTO DE FRECUENCIA EN INSTITUTO DE INV. BIOMEDICAS .....	68
GRÁFICA 10.8 COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN LA ACAD. SAN CARLOS .....	69
GRÁFICA 10.9 GRAFICA DE DISTORSION ARMONICA TOTAL EN CONSEJOS ACADEMICOS.....	70
GRÁFICA 10.10 FACTOR DE POTENCIA, CCIQS.....	71
GRÁFICA 0.1 FUNCIÓN DE DENSIDAD NORMAL.....	74
GRÁFICA 0.1 VARIACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PARA UNA DATC DE 25.674%.....	77
GRÁFICA 0.2 F.D.P DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN.....	78
GRÁFICA 0.3 F.D.P. DE DTT.....	79
GRÁFICA 0.4 F.D.P. DE LA DATT.....	80
GRÁFICA 0.5 F.D.P. DE LA FRECUENCIA.....	81
GRÁFICA 0.6 F.D.P. DEL DESBALANCE EN CORRIENTE.....	82
GRÁFICA 0.7 F.D.P. DE LA DATC.....	83
GRÁFICA 0.8 F.D.P. DEL FACTOR DE POTENCIA.....	84

## DEDICATORIAS

---

---

A mi mamá que desde pequeño me orilló al camino del conocimiento y que gracias a sus consejos he vencido los diferentes obstáculos que se me ha presentado. Y más que nada es gracias a ella que estoy escribiendo estas líneas, este trabajo es por usted y para usted, quien le debo todo lo que soy.

A mi padre (†), que aunque no tuve la fortuna de convivir mucho tiempo con el sé que desde donde se encuentre me sigue apoyando, y que en tan solo 10 años fueron sufrientes para dejarme un gran legado y un buen recuerdo suyo.

A mis hermanos que sin su apoyo, este sueño no hubiese sido posible.

A mis primos que fueron como mis propios hermanos y que siempre me estuvieron apoyando.

A mi familia en general que me brindó su apoyo para llevar a cabo este logro más en mi vida profesional.

A todos aquellos que confiaron en mí...

A mi amada esposa que me ha brindado su amistad y amor incondicional, que ha estado en las buenas y en las malas, que me brindó la maravillosa experiencia de ser padre de dos hermosas criaturas, Carlos Emanuel y Janely Jocelín quienes hacen que mis días sea cada vez más feliz.

**Carlos Alberto Morales Vidal**

A mis papás; Moisés y Magdalena, que siempre confiaron en mí, nunca dejaron de apoyarme y no permitieron que perdiera el camino.

A mis hermanos; Moisés y Rodrigo, que con sus experiencias y consejos me mostraron que sin sacrificio no hay éxito y que en ésta vida siempre habrá tiempo para todo.

A cada uno de mis profesores, pues de su catedra obtuve las herramientas para buscar hacer un mundo mejor y observarlo desde una perspectiva completamente diferente.

A mis compañeros y amigos que directa o indirectamente me apoyaron para llegar a donde estoy.

A la UNAM; mi Alma Mater, por permitirme ser parte de su historia y brindarme invaluable experiencias como universitario.

Al Laboratorio de Proyectos de Ahorro de Energía (PAE) y su personal, por permitirme continuar la ampliación de mis conocimientos y darnos la gran oportunidad de desarrollar ésta tesis con los monitoreos que ahí elaboramos.

Y a ti Marilyn, que has estado a mi lado a pesar de que las circunstancias, por recordarme que lo malo no es caer, sino no levantarse. Te amo.

**René García Giménez**

## 1 OBJETIVO

---

Realizar el estudio de Calidad de la Energía en diferentes dependencias de la UNAM en base a monitoreos realizados en las mismas, con la finalidad de caracterizar los valores típicos de los parámetros eléctricos, de acuerdo al tipo de actividad que se desarrollan en ellas.

## 2 INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

---

La calidad de la energía eléctrica contempla la ausencia de interrupciones, sobre tensiones, deformaciones producidas por frecuencias armónicas en la red y variaciones de tensión suministrada al usuario, así como estabilidad de la tensión, frecuencia y continuidad en el servicio eléctrico.

Por estas razones, la calidad de la energía eléctrica se puede resumir como: *El conjunto de parámetros y/o prioridades de la energía eléctrica entregado al usuario, el cual está ausente de problemas de estabilidad, continuidad y deterioro de la forma de onda.* (Barcón S. E., 2012)

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida diaria, es vital contar con una excelente calidad de la energía. En la actualidad, los sistemas eléctricos convergen en una finalidad principal, proveer un servicio primordial dentro de los estándares de continuidad, adecuación y seguridad óptimas, al costo global más bajo posible. Es evidente que a pesar de la intención de darles un uso adecuado, los sistemas eléctricos siempre se verán afectados por interrupciones y disturbios que impactan en la calidad del suministro de energía a los consumidores, por ello es importante analizar los problemas causados por estas anomalías así como la manera en que se pueden disminuir o mitigar.

*Un disturbio o problema de calidad de energía se define como aquel fenómeno electromagnético que afecta el correcto funcionamiento de los sistemas y equipos eléctricos.* (Barcón S. E., 2012)

La elección de una solución a un problema relacionado con la calidad de la energía por lo general no es fácil, sin embargo, hoy en día es posible tener más de una solución para los diversos problemas que afectan a los sistemas eléctricos, esto debido a que en el mercado se encuentran diferentes equipos especializados, según sean las características de la carga y de la instalación en sí.

## 2.1 LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

---

Hace algunas décadas, cuando no se tomaba en cuenta el tema de la calidad de la energía, el tipo de instalación y la carga que predominaría en el lugar pasaban a segundo plano. Para los ingenieros eléctricos o especialistas lo más importante solo era que no existieran riesgos por fallas de corto circuito, fallas de continuidad de suministro, bajos o altos niveles de tensión y/o procurar realizar los trabajos de acuerdo a las normas establecidas, con materiales que cubrieran los requerimientos mínimos de las mismas y tratando que estos fueran de un costo bajo. Hoy en día una de las mayores preocupaciones es el ahorro de energía así también evitar pérdidas en el consumo eléctrico.

Con respecto a las pérdidas que se tienen en las instalaciones muchos de los textos relacionados con el tema contienen gran cantidad de información sobre la forma en que la energía no es aprovechada al 100%, y es debido a varios factores, uno de ellos es el diseño y construcción de los equipos, así como las propiedades físicas y químicas de los materiales que los constituyen. Otros factores son la implementación de los dispositivos respecto a cómo fueron diseñados así como la instalación de los mismos en lugares cuyas condiciones no son las adecuadas según al diseño de los mismos. Esto se traduce en pérdidas económicas.

Entre otras razones podemos encontrar:

- Uso irracional de la energía.
- Crecimiento de las instalaciones y uso de redes obsoletas.
- Incremento de equipos electrónicos y de instrumentación.
- Reducción de la vida útil de equipos eléctricos.
- La protección de las cargas.

La medición de los parámetros eléctricos en las instalaciones universitarias, nos permitirá tomar decisiones de cómo, cuándo y por qué estamos utilizando esa energía y nos dará la capacidad de reaccionar ante una posible situación de peligro o posible daño futuro. En un análisis de parámetros eléctricos normalmente se presentan reportan problemas tales como:

- Desbalance en tensión y corriente.
- Fluctuaciones temporales de tensión.
- Bajo tensión en los extremos de los circuitos.
- Bajo factor de potencia.
- Sobrecarga de circuitos.
- Presencia de armónicos.

Estos problemas si no se detectan y corrigen a tiempo pueden producir envejecimiento acelerado de los cables y protecciones, reduciendo su vida útil e incrementando el riesgo de fallas que puedan suspender el servicio de energía eléctrica por un tiempo indefinido. Por otro lado, la inclusión de equipos como controladores de velocidad de motores, balastos, etc. producen corrientes armónicas que circulan a lo largo de toda instalación, provocando calentamiento en los motores y transformadores. Inclusive, las armónicas pueden no estarse generando dentro de la misma instalación, sino ser recibidas del exterior a través de la acometida. En cualquier caso, es necesario medir la amplitud y frecuencia de dicha armónica para evitar el sobrecalentamiento y en el peor de los casos el daño irreversible de estos.

## 2.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Para poder entender cada uno de los capítulos posteriores, debemos hacer mención de algunos conceptos los cuales son esenciales en el estudio de la calidad de la energía eléctrica.

### 2.2.1 CORRIENTE ALTERNA

*La corriente alterna es aquella que la intensidad cambia de dirección periódicamente en un conductor, como consecuencia del cambio periódico de polaridad de la tensión aplicada en los extremos de dicho conductor.* (Torres, 2010)

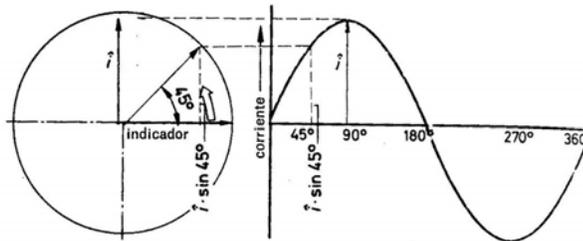


FIGURA 2.1 FORMA IDEAL DE UNA ONDA SENOIDAL DE CORRIENTE<sup>1</sup>.

Las formas de onda no senoidales pueden descomponerse por desarrollo en serie de Fourier, tal como se muestra en la siguiente imagen, en suma de ondas senoidales (onda fundamental y armónicos), permitiendo así el estudio matemático y la de sus circuitos asociados.

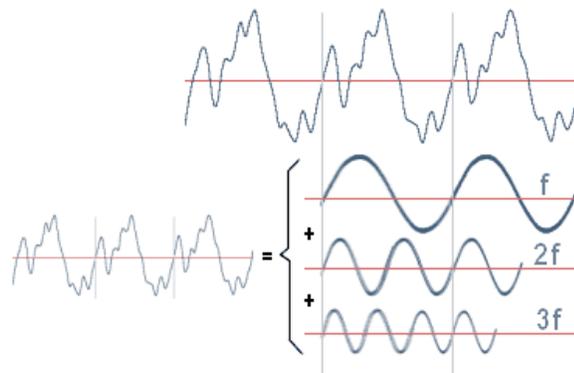


FIGURA 2.2. ONDA FUNDAMENTAL Y SUS ARMÓNICAS<sup>2</sup>.

La corriente alterna presenta ventajas decisivas de cara a la producción y transporte de la energía eléctrica, respecto a la corriente continua:

- ❖ Generadores y motores más baratos y eficientes, y menos complejos.

<sup>1</sup> <http://www.areatecnologia.com/images/tension-alterna.jpg>

<sup>2</sup> <https://f2malbaida.wordpress.com/2012/03/09/el-sonido-y-las-ondas-estacionarias/>

- ❖ Posibilidad de transformar su tensión de manera simple y barata (transformadores).
- ❖ Posibilidad de motores muy simples, (como el motor de inducción jaula de ardilla).
- ❖ Desaparición o minimización de algunos fenómenos eléctricos indeseables (magnetización en las maquinas, y polarizaciones y corrosiones electrolíticas en pares metálicos).

La corriente continua, presenta la ventaja de poderse acumular directamente, y para pequeños sistemas eléctricos aislados de baja tensión, (automóviles) aún se usa aunque incluso estos acumuladores se cargan por alternadores. Actualmente es barato convertir la corriente alterna en continua (rectificación) para los receptores que usen esta última (todos los circuitos electrónicos).

---

## 2.2.2 TENSIÓN

---

Dos tipos de fuentes producen tensiones senoidales, las máquinas eléctricas rotatorias (generadores de c. a.) y los circuitos osciladores electrónicos, los cuales se utilizan en instrumentos comúnmente conocidos como generadores de señales electrónicos. La figura siguiente es una gráfica que muestra la forma general de una onda senoidal, la cual representa una tensión alterna. La tensión se muestra en el eje vertical y el tiempo (t) en el eje horizontal. Se observa como varía la tensión con el tiempo. Comenzando en cero, la tensión se incrementa hasta un máximo positivo (pico), regresa a cero, y luego se incrementa hasta un máximo negativo (pico) antes de regresar otra vez a cero, y así completa un ciclo. (Torres, 2010)



FIGURA 2.3 FORMA IDEAL DE UNA ONDA SENOIDAL DE TENSIÓN. (Torres, 2010)

### 2.2.3 IMPEDANCIA

Si en un circuito eléctrico el fasor<sup>3</sup> de la tensión varía en forma proporcional al fasor de corriente, ésta la relación de proporción entre ambos recibe el nombre de impedancia y se denomina con la letra Z:

$$V = ZI \quad (\text{V}) \quad (1)$$

$$|z| = \frac{V_p}{I_p} \quad (\Omega) \quad (2)$$

La impedancia es proporcional al cociente entre los valores pico de la tensión y la corriente. Por otra parte, el ángulo de la impedancia depende del ángulo existente entre los fasores de corriente y tensión. Se puede decir que la impedancia (Z) no es una función, sino un número complejo. La impedancia se obtiene del cociente de dos fasores, esta se expresa de la siguiente forma:

$$Z = R + jX \quad (\Omega) \quad (3)$$

En el caso de un resistor, su impedancia es únicamente resistiva:

$$Z_R = R \quad (\Omega) \quad (4)$$

Mientras que para un inductor y un capacitor, sus impedancias son únicamente reactivas:

$$Z_L = j\omega L \quad (\Omega) \quad (5)$$

$$Z_c = -j \frac{1}{\omega C} \quad (\Omega) \quad (6)$$

La impedancia es la oposición que presenta un elemento al paso de la corriente. En el caso de la reactancia, la oposición se da en función de la frecuencia. La impedancia inductiva es positiva, mientras que la reactancia capacitiva es negativa.

---

<sup>3</sup> Un fasor es una representación gráfica de un número complejo que se utiliza para representar una oscilación, de forma que el fasor suma de varios fasores puede representar la magnitud y fase de la oscilación resultante de la superposición de varias oscilaciones en un proceso de interferencia.

## 2.2.4 TIPOS DE CARGA ELÉCTRICA

### 2.2.4.1 CARGA RESISTIVA

Un resistor es un elemento eléctrico que presenta oposición al paso de la corriente. Al hacerlo, parte de la energía eléctrica es disipada como calor. Dos cargas comunes resistivas son los bulbos de luz incandescente y los calentadores eléctricos. La resistencia  $R$  es medida en Ohms ( $\Omega$ ).

Un foco incandescente produce luz al pasar corriente eléctrica a través de un filamento en vacío. La resistencia del filamento causa que se caliente y la energía eléctrica es convertida en energía luminosa. Los calentadores eléctricos trabajan de la misma manera, excepto que ellos producen un poco luz y mucha disipación de calor. La corriente eléctrica y la tensión en una carga resistiva se dicen estar "en fase" uno con otro, tal como se muestra en la siguiente imagen. Como la tensión se eleva o cae, la corriente también se eleva y cae con éste.

$$V_R = R I_R \quad (V) \quad (7)$$



FIGURA 2.4 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN FASE<sup>4</sup>.

### 2.2.4.2 CARGA CAPACITIVA

Un capacitor almacena energía eléctrica, las dos superficies conductoras que lo componen están separadas por un aislante no conductor. Cuando una corriente eléctrica es aplicada a un capacitor, los electrones de la corriente se acumulan en la placa adjunta a la terminal a la cual es aplicada la corriente eléctrica. Cuando la corriente es retirada, los electrones fluirán de regreso a través del circuito para alcanzar la otra terminal del capacitor.

Los capacitores son utilizados en motores eléctricos, radio circuitos, fuentes de poder y muchos otros circuitos. La capacidad de un capacitor para almacenar energía eléctrica es llamada capacitancia ( $C$ ). La unidad principal de medida es el Faraday ( $F$ ), pero la mayoría de los capacitores están medidos en microFaraday ( $\mu F$ ). La corriente lleva la tensión de un capacitor. La tensión a través de las terminales comienza a cero voltios mientras la corriente está a su máximo. A medida que la carga se desarrolla en la placa del capacitor, la tensión se eleva y la corriente cae. A medida que un capacitor se descarga, la corriente se eleva y la tensión cae.

$$V_c = -j \frac{1}{\omega C} I_c \quad (V) \quad (8)$$

<sup>4</sup> <http://www.afinidadelectrica.com.ar/html/Image/Factor%20de%20potencia%20-%20Carga%20Resistiva%20Inductiva%20y%20Capacitiva.JPG>

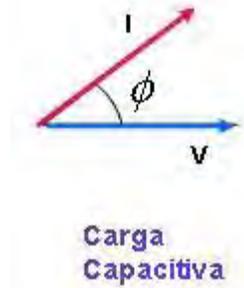


FIGURA 2.5 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE UNA CARGA CAPACITIVA

Para una carga capacitiva la corriente se adelanta  $90^\circ$  con respecto a la tensión, como se ilustra en la figura anterior, situación característica de la carga capacitiva la cuál será de mucha utilidad al momento de corregir un bajo factor de potencia, esto último se estudiará más adelante.

### 2.2.4.3 CARGA INDUCTIVA

Un inductor puede ser cualquier material conductor. Cuando un cambio de corriente pasa a través de un inductor, éste induce un campo magnético alrededor de este mismo. Girando el inductor en una bobina incrementa el campo magnético. Un principio similar ocurre cuando un conductor es colocado en un campo magnético cambiante. El campo magnético induce una corriente eléctrica en el conductor. Ejemplos de cargas inductivas incluyen transformadores, motores eléctricos y bobinas.

Un transformador tiene dos inductores, uno primario y uno secundario. El campo magnético en el devanado primario induce una corriente eléctrica ( $V$ ) devanado secundario. Una bobina almacena energía en un campo magnético que induce cuando un cambio de corriente pasa a través de éste y libera la energía cuando la corriente es retirada. La inductancia ( $L$ ) es medida en Henrys ( $H$ ). El cambio de tensión y corriente en un inductor están fuera de fase. A medida que la corriente se eleva al máximo, la tensión cae.

$$V_L = -j\omega LI_L \quad (9)$$

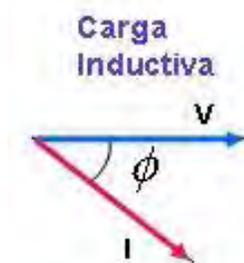


FIGURA 2.6 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LAS MAGNITUDES DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE UNA CARGA INDUCTIVA<sup>5</sup>

A diferencia de la carga capacitiva, en una donde predominan los elementos inductivos se presenta un atraso en la corriente de  $90^\circ$  con respecto a la tensión, la representación vectorial se presentan en la figura anterior. Se puede decir, que un inductor se opone a los cambios de la corriente que circula por él, generando una tensión inversa a la de la fuente.

<sup>5</sup> <http://www.afinidadelectrica.com.ar/html/Image/Factor%20de%20potencia%20-%20Carga%20Resistiva%20Inductiva%20y%20Capacitiva.JPG>

#### 2.2.4.4 CARGA NO LINEAL

---

Las cargas no lineales son todas aquellas que generan corrientes no senoidales, es decir, corrientes que además de la componente fundamental tienen otras que son múltiplos enteros de la fundamental y que se conocen como armónicos. Este tipo de cargas ha existido en los sistemas eléctricos desde el principio, principalmente eran de tipo magnético, como las corrientes de excitación de los transformadores y los balastos magnéticos de luminarias tipo fluorescente.

La aparición de la electrónica ha mejorado mucho las propiedades de los productos pero ha traído consigo, entre otros problemas, la generación de armónicos.

Los fabricantes de variadores de frecuencia de motores de inducción explican cómo estos equipos mejoran la eficiencia de las máquinas permitiendo variar la velocidad de funcionamiento según las necesidades de la aplicación, pero advierten que éstos producen armónicos de orden 5, 7, 11 y 13.

Los efectos de las cargas no lineales también se ven reflejados en los transformadores de distribución reductores (delta - estrella), donde el mayor porcentaje de cargas son equipos electrónicos monofásicos, conectados entre línea y neutro. Las corrientes armónicas del neutro se reflejan en el lado de la delta elevando la densidad de flujo magnético en el núcleo y las corrientes parasitas.

En resumen los equipos de cómputo, los balastos electrónicos, las impresoras, las copadoras, los variadores de velocidad para motores, inversores y rectificadores de línea, relevadores de estado sólido, y cualquier tipo de equipo electrónico.

#### 2.2.4.5 CARGA CRÍTICA

---

Una carga crítica es aquella que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente ocasiona grandes perjuicios económicos; por ejemplo, si en una fábrica una de las líneas de ensamble o uno de los controles de algún robot principal se daña, ocasionaría el paro de la producción y con ello la pérdida de tiempo y dinero ocasionado por el inconveniente. Otro ejemplo de este tipo de carga son en sí, los centros de cómputo así como los Sites de Comunicaciones donde se alojan los servidores y demás equipo necesario para una red de cómputo, implementadas hoy en día en cualquier inmueble.

Una carga crítica sensible es aquella a la cual cualquier variación o disturbio eléctrico le afecta de manera significativa, estos daños van desde la pérdida de información hasta el daño total del equipo. Dentro de esta categoría entran todos los equipos de instrumentación y de control.

Además de lo anterior se pueden catalogar dentro de las cargas sensibles los equipos de electrónicos de laboratorio e investigación. Estos equipos requieren de una calidad de energía eléctrica excelente, así como también de un suministro completamente continuo, debido a que de ello dependen la fidelidad y veracidad de los resultados, evitando también pérdidas económicas de inversión tecnológica.

## 2.2.5 POTENCIA

La potencia es la razón de cambio de la energía con respecto al tiempo en función de la tensión y la corriente. La unidad en la que se mide la potencia es el WATT (W). Para las compañías suministradoras es muy importante conocer la cantidad de potencia que es entregada a los usuarios a través del tiempo para facturar el consumo que se hace de la energía eléctrica.

### 2.2.5.1 POTENCIA INSTANTÁNEA

En los circuitos de corriente alterna, la tensión y la corriente son cantidades que varían según la forma de onda senoidal a través del tiempo. Por lo cual, el producto de ambas es así también una unidad variable. Esta última recibe el nombre de potencia instantánea y se expresa como:

$$p = v \times i \quad (\text{W}) \quad (10)$$

Debido a que la corriente y la tensión son ambas funciones periódicas, la potencia instantánea también es una función periódica de tal forma que, al igual que la corriente y la tensión, se repite cada T segundos.

### 2.2.5.2 POTENCIA ACTIVA

Consideremos un circuito resistivo-inductivo o RL donde ambos elementos se conectan en serie, tal como se muestran en la siguiente imagen. Al no ser un circuito puramente resistivo ni puramente inductivo, el ángulo de fase no es  $0^\circ$  ni  $90^\circ$ .

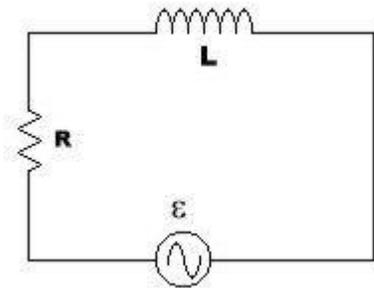


FIGURA 2.7 CIRCUITO BÁSICO RESISTIVO-INDUCTIVO<sup>6</sup>.

Si se conoce que el ángulo  $\phi$  de desfase de la corriente, se encuentra entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , y está atrasado con respecto a la tensión (por no contar con elementos capacitivos), entonces los valores de tensión y corriente se dicen que son:

$$v = \sqrt{2} V_{RMS} \cos(\omega t) \quad (11)$$

$$i = \sqrt{2} I_{RMS} \cos(\omega t - \phi) \quad (12)$$

De las ecuaciones anteriores, se puede observar que tiene tres sumandos. La potencia promedio puede ser medida únicamente por el sumando del centro al ser un valor constante, mientras que los otros valores son senoidales, por lo tanto:

---

<sup>6</sup> <http://www.areatecnologia.com/electricidad/imagenes/circuitos-rl.jpg>

$$P = V_{RMS} I_{RMS} \cos(\phi) \quad (13)$$

Esta potencia corresponde entonces al valor promedio que la fuente entrega al circuito en un tiempo T determinado, siempre fluyendo del punto de suministro hacia la carga. Hay que tomar en cuenta que la potencia se disipa mediante el resistor del circuito en forma de calor, es por ello que la potencia promedio es aquella que tiene la capacidad de generar trabajo. Esto recibe el nombre de Potencia Activa y cuya unidad es el Watt (W).

Si se desea observar cómo se plasman las magnitudes de corriente y tensión en plano de Gauss o imaginario se podría pensar en algo como lo siguiente:

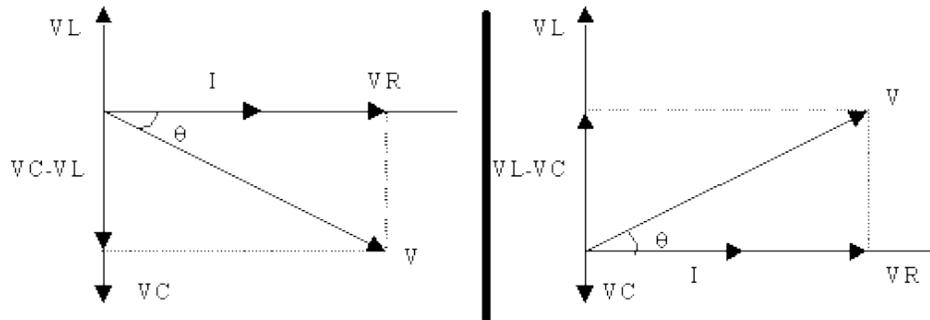


FIGURA 2.8 DIAGRAMA FASORIAL DE UN CIRCUITO RLC CAPACITIVO E INDUCTIVO

Se puede observar que la proyección de la corriente sobre el eje real  $V$ , corresponde a  $I \cos(\phi)$  y tiene una magnitud menor que  $I$ . Esta proyección, que está en fase con la tensión, recibe el nombre de componente activa de la corriente. Por ello se dice que la componente de la corriente que está en fase con la tensión, es la encargada de generar potencia activa.

En una instalación eléctrica, los elementos o equipos que la componen pueden fungir como consumidores; es decir, que utilizan la potencia activa de la red como fuente de energía de alimentación (computadoras, multifuncionales, equipos de instrumentación, etc.), o como convertidores a otra forma de energía (por ejemplo, lámparas, parrillas eléctricas o calentadores de agua), así también en un trabajo útil (motores eléctricos).

### 2.2.5.3 POTENCIA REACTIVA

La potencia fluctuante, que se caracteriza por estar originada por un elemento reactivo como el inductor, tiene como amplitud el producto de los valores eficaces de la tensión, de la corriente y del  $\sin(\phi)$ ; a esta potencia se le denomina reactiva y se le identifica mediante la letra Q.

$$Q = V_{RMS} I_{RMS} \sin(\phi) \quad (VAR) \quad (14)$$

Esta potencia fluye en ambas direcciones, a diferencia de la potencia activa, que es unidireccional. Esta se mide en Volt-Amperes-Reactivos (VAR).

En el plano de Gauss de la figura 2.8 podemos apreciar que la proyección de la corriente sobre el eje a  $90^\circ$  con respecto a la tensión, corresponde a  $I_{RMS} \sin(\phi)$ . Igualmente, esta componente que está a  $90^\circ$  en atraso, recibe el nombre de componente reactiva de la corriente.

Por lo tanto se puede decir que la componente de la corriente en el eje de las abscisas es la encargada de la generación de la potencia reactiva, lo cual se comprueba con el producto del valor eficaz de la tensión por la proyección del fasor de corriente sobre el eje imaginario, dé como resultado (Q).

Todas las instalaciones y equipos de corriente alterna que tengan dispositivos electromagnéticos, o devanados acoplados magnéticamente, necesitan corriente reactiva para crear flujos magnéticos. Los elementos más comunes de esta clase son los transformadores, inductancias, motores y balastos de lámparas de descarga. La proporción de potencia reactiva (VAR) con respecto a la potencia activa (W), variará en función del tipo de receptor; a modo de aproximación se puede decir que un 65% a un 75% para motores asíncronos, y de un 5 a un 10% para transformadores. (Guía de diseño de instalaciones eléctricas 08 Schneider Electric, 2013)

#### 2.2.5.4 POTENCIA APARENTE

---

De acuerdo a los puntos anteriores, cuando en el circuito eléctrico existen elementos resistivos y reactivos, la tensión aplicada y la corriente que circula en el circuito, no están en fase.

Dado que  $I_{RMS}$  es la magnitud total de la corriente que circula por el circuito, entonces el producto de los valores eficaces de la tensión por la corriente expresa la cantidad total de potencia que la fuente entrega a la carga, la cual recibe el nombre de potencia aparente y es representada mediante la letra S. Su unidad es el Volt-Ampere (VA). La ecuación que la representa es:

$$S = V_{RMS} I_{RMS} \quad (VA) \quad (15)$$

Entonces, debido a que las potencias activa y reactiva se obtienen mediante proyecciones de la corriente, entonces sus valores siempre serán menores al valor de la potencia aparente, salvo en los casos en que los circuitos sean puramente resistivos. Entonces  $(P)=(S)$ , o bien inductivo o  $(Q)=(S)$  cuando es capacitivo.

Hasta este punto, lo tratado sobre potencia ha sido enfocado a los sistemas monofásicos en el caso de los sistemas trifásicos se pueden hacer ciertas consideraciones aunque en realidad es una extensión del cálculo de potencia en los sistemas monofásicos.

De manera general existen dos tipos de conexiones de sistemas trifásicos, estrella y delta.

Las relaciones para el cálculo de la potencia trifásica para un circuito configurado en estrella quedan como a continuación:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \cos(\varphi) \quad (16)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \sin(\varphi) \quad (17)$$

$$S_{3\phi}^2 = P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2 \quad (18)$$

Se ha visto que la potencia activa tiene un sentido único, de la fuente hacia la carga, mientras que la potencia reactiva fluye en ambas direcciones. Este concepto es fácil de aplicar cuando los sistemas eléctricos tiene un solo punto de alimentación y a partir de ahí se derivan otros circuitos. Sin embargo, cuando la potencia es suministrada desde puntos distintos interconectados entre sí, se complica el enfoque puesto que la potencia fluye entre los distintos circuitos de enlace y su dirección o sentido depende de las condiciones de operación.

Existen distintos enfoques con respecto a ello, lo principal es pensar que la potencia activa es generada por la fuente de energía y consumida por la carga. Para el caso de la potencia reactiva es diferente puesto que puede cambiar de sentido de acuerdo al tipo de carga presente; es decir, la carga inductiva consume potencia reactiva, por lo tanto el sentido de esta sería hacia la carga. Por el contrario para una carga capacitiva que genera potencia reactiva. Se usa la siguiente ecuación para determinar las potencias (P) y (Q) que pueden ser absorbidas o suministradas a un determinado elemento:

$$S = VI^* = P + jQ \quad (19)$$

Cuando la corriente atrasa a la tensión por un ángulo entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , tanto la potencia Activa como la Reactiva son positivos, lo cual indica que el circuito es inductivo, puesto que absorbe tanto watts como VARs. Cuando la corriente adelanta a la tensión por un ángulo entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , la potencia Activa sigue siendo positiva pero ahora la potencia Reactiva se vuelve negativa al igual que el ángulo, lo cual indica que el circuito es capacitivo y está entregando VARs.

### 3 DISTURBIOS ELÉCTRICOS

Los disturbios eléctricos son perturbaciones y manifestaciones que se presentan en los sistemas eléctricos que afectan la forma de onda de los principales parámetros como la corriente o la tensión, derivando en una baja calidad de la energía, afectaciones a los equipos conectados al sistema, entre otros. A continuación se presenta una tabla con los principales tipos de disturbios eléctricos.

**Table 2—Categories and typical characteristics of power system electromagnetic phenomena**

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 $\mu$ s rise	50 ns–1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 $\mu$ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 $\mu$ s	0–4 pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles–3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles–3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles–3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s–1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s–1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s–1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5–2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–100th H	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–6 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7%
7.0 Power frequency variations		< 10 s	

FIGURA 3.1 DISTURBIOS ELÉCTRICOS MÁS FRECUENTES. (IEEE-1159, 1995)

### 3.1 VARIACIONES DE TENSIÓN

---

Las variaciones de tensión de **corta duración** son ocasionadas frecuentemente por condiciones de falla en la energización de grandes cargas que requieren a su vez de un alto nivel de corriente para su encendido, así como presencia conexiones flojas en el cableado de la alimentación. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema podrá haber aumentos de tensión (swells) o caídas de tensión (sags), que a su vez son subdivididas en tres categorías, instantáneo, momentáneo y temporal.

Las variaciones de **larga duración** son aquellas desviaciones que duran más de un minuto. Pueden ser tanto sobretensiones como subtensiones dependiendo de la causa de la variación, éstas por lo general no son ocasionadas por fallas sino por variaciones de carga en el sistema y operaciones de conmutación. Las sobretensiones son resultado de desconexión de grandes cargas o variaciones en la compensación reactiva sobre el sistema eléctrico, también son consecuencia de una pobre capacidad de regulación y control de tensión; así como un mal ajuste en los taps del transformador. Las subtensiones son provocadas en ocasiones por eventos contrarios que causan sobretensiones. Cabe mencionar que las interrupciones sostenidas, también entran en esta categoría y requieren de intervención manual para su restauración.

Entre las principales consecuencias provocadas por las subtensiones podemos encontrar mal funcionamiento de controladores de motores. La larga duración de subtensiones causa un incremento de pérdidas por calentamiento en motores de inducción debido al aumento en la corriente del motor. Los cambios de velocidad en la maquinaria de inducción pueden ser posibles durante condiciones de subtensiones. Dispositivos electrónicos como computadoras pueden parar sus operaciones durante esta condición. Condiciones de subtensiones sobre un banco de capacitores resulta en una reducción de tensión en la salida del banco. Generalmente condiciones de subtensiones no generan daños significativos en transformadores, cables, interruptores, TCs, TPs, dispositivos de medición y transductores. La emisión de luz de algunos dispositivos de iluminación puede reducir en condiciones de subtensión.

En el caso de las sobretensiones, las consecuencias que podemos distinguir por estas condiciones son fallas en transformadores, cables, interruptores, TCs, TPs y máquinas de rotatorias, pero generalmente no se muestran de manera inmediata. A pesar de ello, lo anterior puede resultar en una pérdida de la vida útil del equipo; en condiciones de sobretensión algunos relevadores de protección pueden tener operaciones erráticas. La salida de Potencia de un capacitor se incrementará con la raíz de la tensión durante la condición de sobretensión. La emisión de luz de algunos dispositivos de iluminación puede incrementar en condiciones de sobretensión.

El efecto de una interrupción sostenida es la desconexión de la alimentación eléctrica de la carga.

---

#### 3.1.1 INTERRUPCIONES DE ENERGÍA

*Una interrupción ocurre cuando la tensión de alimentación decrece a menos del 10% de su valor nominal. Las interrupciones pueden ser causadas por fallas en el sistema, fallas en los equipos o un funcionamiento defectuosos de control. La duración de una interrupción está determinada por los dispositivos de protección y del evento que ocasionó la falla. (IEEE-1159, 1995)*

Algunas interrupciones están precedidas por un sag, donde estas interrupciones son debidas a fallas sobre el sistema de alimentación. El sag ocurre entre el tiempo que inicia la falla y opera el dispositivo de protección. La duración de la interrupción dependerá de la capacidad de recierre del dispositivo de

protección. Incluso interrupciones instantáneas pueden afectar a equipos electrónicos y de iluminación causando la mala operación. Las interrupciones momentáneas o temporales casi siempre causarán en el equipo el paro de operación, y pueden ocasionar la falla de un contactor de un motor de inducción. En algunos casos las interrupciones pueden dañar equipo electrónico de arranque suave. La siguiente imagen muestra el ejemplo la variación de tensión debida a una falla y su posterior recierre del dispositivo de protección.

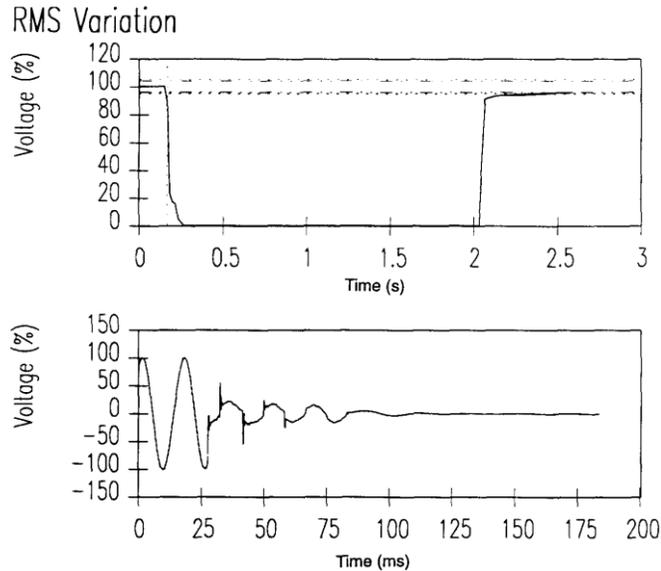


FIGURA 3.2 INTERRUPCIÓN MOMENTÁNEA<sup>7</sup>.

### 3.2 DESBALANCE DE TENSIÓN

---

Es una característica de un sistema trifásico, que indica la medida de desbalance existente en el sistema, es decir la falta de simetría entre las tensiones y/o ángulos de tensión en el punto de conexión.

*Los sistemas desbalanceados pueden analizarse a partir de la representación por medio de tres sistemas trifásicos compuestos como lo indican las siguientes figuras, por dos ternas (trifásicas) simétricas y una tercera compuesta por una terna de igual magnitud, pero de igual fase. (Ecamec Tecnología, 2009)*

---

<sup>7</sup> Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

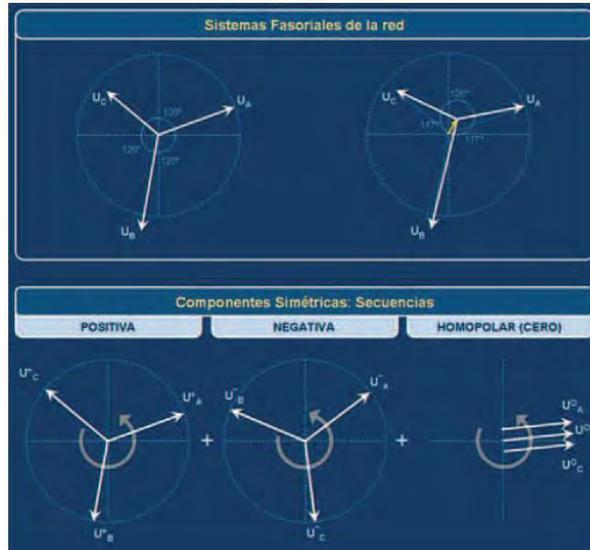


FIGURA 3.3 REPRESENTACIÓN FASORIAL DE UN SISTEMA TRIFÁSICO<sup>8</sup>

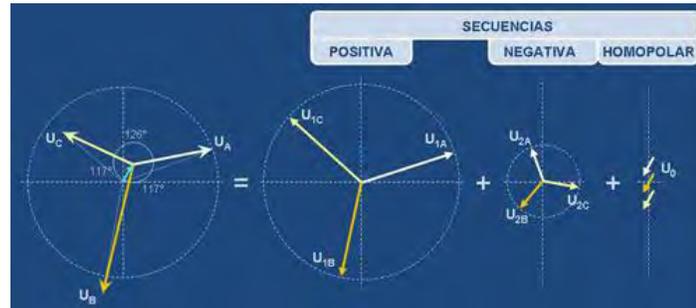


FIGURA 3.4 REPRESENTACIÓN DE SECUENCIAS POSITIVA, NEGATIVA Y HOMOPOLAR O CERO.

- *La terna de secuencia positiva corresponde al flujo de potencia que proviene de la red hacia la carga (desde el generador hacia aguas abajo). La potencia suministrada o energía eléctrica generada tiene únicamente representación de secuencia positiva, o sea, no existe generación de potencia secuencia negativa u homopolar, en los sistemas de generación simétricos.*
- *En la terna de secuencia negativa, la componente negativa, es una indicación de la medida de desbalance existente en el sistema (trifásico), o sea, de la falta de simetría entre los fasores de tensión en el punto de conexión.*
- *La presencia de componentes de secuencia homopolar (o secuencia cero) se vincula con la conexión respecto a tierra. Las corrientes homopolares son la que no cierran el circuito por las fases activas, sino que lo hacen por neutro o por tierra, si existiera conexión galvánica con el circuito, las tensiones homopolares en un sistema estrella se encuentran en el sistema estrella de cargas, cuya magnitud se mide respecto de tierra o del centro estrella de generación. (Ecamec Tecnología, 2009)*

En la siguiente figura se tiene un sistema simétrico con carga desbalanceada en donde se generan corrientes y tensiones desbalanceadas. Cada corriente de línea se descompone en sus tres

<sup>8</sup> (Ecamec Tecnología, 2009)

componentes de secuencia. Las componentes positiva y negativa pertenecen solo a las fases activas, en cambio la componente homopolar cierra en nodo común de las cargas a través del neutro o tierra. La corriente de neutro, sumatoria de las corrientes de fase, es equivalente a tres veces la homopolar existente en cada una de las fases (recordar que tanto la tensión como la corriente homopolar son iguales en magnitud y en fase).

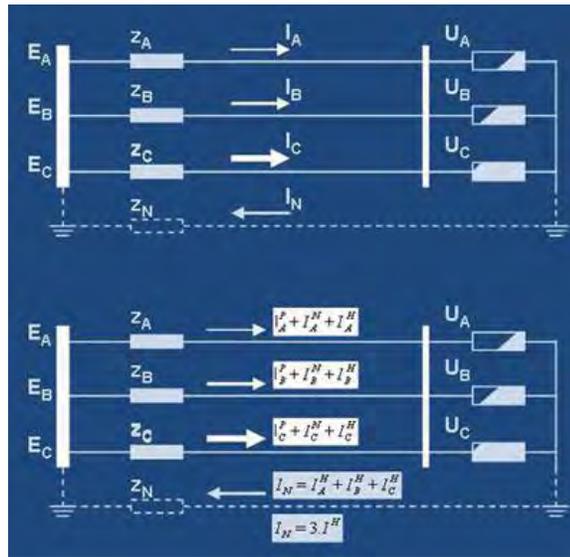


FIGURA 3.5 SISTEMA TRIFÁSICO SIMÉTRICO CON CARGA DESBALANCEADA

*El desbalance puede ser calculado como la máxima desviación del promedio de la tensión de las tres fases, dividido por el promedio de las tres fases, expresado en porcentaje. (IEEE-1159, 1995)*

Cuando las tensiones de línea aplicadas a un motor no son equilibradas se desarrollan corrientes desbalanceadas en los devanados del estator de los motores, a estas se les conoce como corrientes de secuencia negativa y reducen el torque del motor, ya que el torque total transmitido quedará compuesto por un torque positivo (directo, frecuencia de red) más un torque de menor intensidad en sentido contrario, equivalente a un freno. Se producen dos efectos importantes, aumenta la temperatura en el devanado y aumenta su vibración. Un aumento de la temperatura por encima de su valor permitido provocaría daños al aislamiento, y el aumento en los niveles de vibración provocaría en algún grado solturas mecánicas, desgastes en los rodamientos y aflojamiento de las bobinas.

Los análisis de laboratorio indican que hasta un 2% de desbalance, los motores no se ven muy afectados. Por encima del 2%, la eficiencia se verá reducida, por lo que la potencia de placa de un motor debe ser multiplicado por un factor de reducción tal y como se observa en la ilustración.

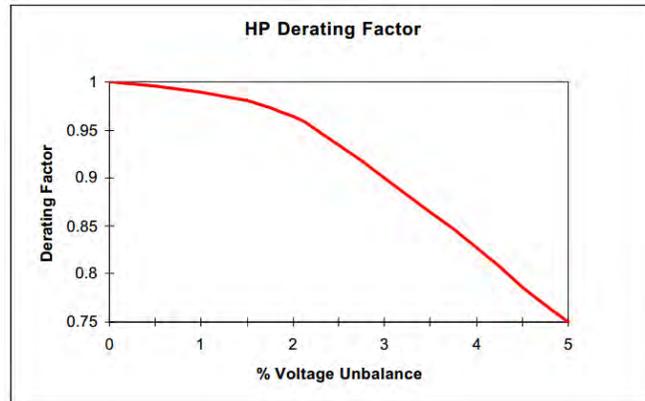


FIGURA 3.6 FACTOR DE REDUCCIÓN DE POTENCIA (NEMA).

De acuerdo a NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ningún motor debe ser operado con desbalances de tensión mayores a un 5%.

### 3.3 DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA

La distorsión de la forma de onda es una desviación de una onda sinusoidal ideal de frecuencia de alimentación, principalmente caracterizado por su contenido espectral de la desviación.

---

#### 3.3.1 RUIDO ELÉCTRICO

El ruido eléctrico es una señal eléctrica no deseada con contenido espectral contenido menor a 200 [kHz] superimpuesto en la red de tensión del sistema de alimentación o corriente en los conductores de fase o que se encuentran en conductores neutrales o en señales. El ruido en sistemas de potencia puede ser causado por dispositivos electrónicos de potencia, circuitos de control, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de alimentación conmutadas. El problema de ruido se agrava por una inadecuada tierra física. Básicamente consiste en una distorsión de onda no deseada de la señal de alimentación que no puede ser clasificada como distorsión armónica o transitoria. Una magnitud típica del ruido es menor al 1% de la magnitud de la tensión

El problema puede ser mitigado usando filtros, transformadores de aislamiento y algunas condiciones de línea.

---

#### 3.3.2 DISTORSIÓN ARMÓNICA

Los armónicos son corrientes o tensiones senoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema de suministro está diseñado para operar, es decir que los armónicos combinados con la fundamental de corriente o tensión producen distorsión de forma de onda. Los armónicos son debidos a características no lineales de los dispositivos y cargas en el sistema. En el Capítulo 4 se profundiza más sobre este tema.

### 3.4 VARIACIÓN DE FRECUENCIA

---

La frecuencia es uno de los parámetros más importantes en la valoración de las características de operación de un sistema de potencia.

La frecuencia de alimentación del sistema está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores del sistema. En cualquier instante la frecuencia depende del balance entre las cargas y la capacidad disponible de generación.

Las variaciones de frecuencia que están fuera de los límites de aceptación para el funcionamiento normal de estado estacionario del sistema de potencia normalmente son causadas por fallas en el sistema de transmisión, como un gran bloqueo de carga desconectada o una gran fuente de generación fuera de línea.

La variación de frecuencia que afecta la operación de rotación de maquinarias o procesos que deriven su sincronización a partir de la frecuencia de alimentación (reloj), son poco comunes en los sistemas de interconexión modernos. Es más frecuentemente que ocurra una variación de frecuencia cuando un equipo es alimentado por un generador aislado del sistema de servicios públicos. En tales casos la respuesta del regulador a los cambios abruptos de carga puede no ser adecuada para regular el estrecho ancho de banda de frecuencia requerida para equipos sensibles.

Mantener la frecuencia dentro de ciertos rangos, es primordial para el buen funcionamiento y estabilidad de los sistemas eléctricos, esto se logra cuando la cantidad de energía generada es igual a la cantidad demandada.

Para lograr esta igualdad es necesario realizar estudios de las tendencias de los comportamientos de las cargas en distintas épocas del año y a diferentes horas del día para poder predecir la demanda con el fin de satisfacerla completamente y así evitar que se produzcan diferencias entre ellas que provocarían las variaciones de frecuencia.

La velocidad de los motores síncrono y asíncronos conectados directamente a la red de alimentación, varía en proporción a la frecuencia de la tensión suministrada.

Si el sistema está balanceado la frecuencia es constante. La frecuencia está directamente relacionada con el balance de la potencia generada y la consumida en el sistema y la variación de la frecuencia es un indicador del balance de la potencia activa.

En general los servicios públicos mantienen un control muy estricto de la frecuencia de alimentación. Ligeras variaciones en la frecuencia en un sistema eléctrico puede causar severos daños al generador y a la turbina debidos a los grandes pares desarrollados posteriormente. Las variaciones de frecuencia son más comunes en los equipos de sistemas de generación que son propiedad de los usuarios. La velocidad excesiva del generador puede ocasionar un incremento en la frecuencia en pequeños sistemas operando independientemente de las fuentes de alimentación a los usuarios.

### 3.5 FACTOR DE POTENCIA

De los conceptos anteriores, es importante recordar que la potencia total que la carga absorbe o que la fuente de generación aporta, es denominado potencia aparente, tanto que la potencia utilizada para producir trabajo se le llama potencia activa. La relación en estas potencias recibe el nombre de Factor de Potencia (en adelante  $fp$ ) y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$fp = \frac{P}{S} \quad (20)$$

En condiciones de corriente y tensión senoidales se determina como sigue:

$$fp = \frac{V_{RMS} I_{RMS} \cos(\varphi)}{V_{RMS} I_{RMS}} = \cos(\varphi) \quad (21)$$

Dado que la Potencia Reactiva normalmente es menor que la Potencia Aparente, salvo en los casos de los circuitos puramente resistivos donde son iguales, encontramos que el  $fp$  estará dentro del intervalo  $0 \leq fp \leq 1$ .

Si el desfaseamiento es motivado por la presencia de un inductor, se dice en este caso que el  $fp$  es "inductivo" o "atrasado" (la corriente se atrasa con respecto a la tensión). Si el desfaseamiento es motivado por la presencia de un capacitor, entonces se dice que el  $fp$  es "capacitivo" o "adelantado" (la corriente se adelanta con respecto a la tensión).

El  $fp$  se acerca más a la unidad si el ángulo de desfaseamiento entre la tensión y la corriente es más pequeño; y viceversa, si el ángulo de desfaseamiento se vuelve más grande, el  $fp$  tiende a cero. Un  $fp$  alejado de la unidad implicaría que solamente una parte de la potencia que es entregada por parte de la fuente es transformada en trabajo, mientras que otra cantidad considerable es potencia reactiva.

Dado que las potencias Activa y Reactiva son obtenidas al proyectar la corriente sobre el eje de la tensión y sobre el eje de las abscisas, entonces dichas potencias se representan mediante el uso de un diagrama que suele llamársele triángulo de potencias. En este triángulo se representa la potencia activa (R) como un cateto en forma horizontal; la potencia reactiva (Q) se representa mediante un cateto en forma vertical, el cual está a  $90^\circ$  con respecto al que representa a de la potencia activa, y en la hipotenusa se representa a la potencia aparente (S).

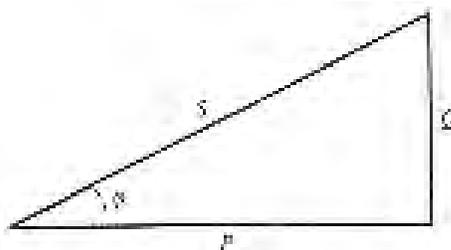


FIGURA 3.7 TRIÁNGULO DE POTENCIAS.

En la figura anterior se aprecia el modelo del triángulo de potencias, el ángulo formado por (P) y (S) corresponde al ángulo ( $\varphi$ ) de la impedancia. Tal como en el Teorema de Pitágoras, la relación entre catetos e hipotenusa resulta en la siguiente ecuación:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (22)$$

Y las siguientes relaciones:

$$P = S \cos(\varphi) \quad (23)$$

$$Q = S \sin(\varphi) \quad (24)$$

$$Q = P \tan(\varphi) \quad (25)$$

Desde el punto de vista de la calidad de la energía, el factor de potencia requiere de una especial atención debido a que juega un papel importante dentro del análisis de un diagnóstico realizado en una instalación eléctrica.

El estudio del factor de potencia o *fp* es en gran medida una manera simple de encontrar las anomalías que se registran o que se encuentran en una instalación. Todo se reduce a saber si el *fp* tiene un valor “bajo” o “alto”.

En diferentes partes del mundo existe una penalización; es decir un cargo extra en la facturación de la energía eléctrica, si el *fp* se halla por debajo de cierto límite. En México, dicho límite se halla en el valor de 0.9, es decir, si a lo largo de un periodo específico se mantiene el *fp* en un valor promedio menor a 0.9, se tiene penalización. Por el contrario, cuando se mantiene el FP en promedio por encima del valor de 0.9, es entonces que se tiene cierta bonificación por parte de la compañía suministradora.

En nuestro país, la compañía suministradora (Comisión Federal de Electricidad), el cargo por bajo *fp* lo calcula de la siguiente manera:

$$Cargo = Facturación \times \frac{3}{5} \left( \frac{0.90}{fp} - 1 \right) \quad (26)$$

El porcentaje de cargo aumenta conforme se disminuye el *fp*; un factor de potencia de 0.6, por ejemplo, derivará en un 30% de cargos de la cantidad que facture la empresa suministradora, mientras que un *fp* de 0.5 provocará cargos por 48% de la cantidad a facturar. Conforme el *fp* aumente, el porcentaje del cargo disminuirá, y llegará a retirarse cuando el valor del factor de potencia valga el mínimo establecido, que es de 0.9.

Si el *fp* se incrementa y se mantiene por encima de mínimo solicitado por la compañía suministradora, entonces el usuario recibirá una bonificación, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$Bonificación = Facturación \times \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{0.9}{fp} \right) \quad (27)$$

La bonificación solo se aplica cuando se supera el mínimo requerido de 0.9, de tal forma que si se tiene el mínimo no se recibirá bonificación, y si se tiene un *fp* unitario entonces el porcentaje será de 25% sobre la cantidad a facturar, como máximo.

Existe una gran variedad de equipos que por sus características de operación provocan un bajo  $fp$ . Transformadores, alumbrado fluorescente, motores de inducción, hornos de inducción, rectificadores con o sin control, motores síncronos, grupos motor-generador, hornos de arco, soldadoras eléctricas, variadores de velocidad, reguladores de tensión, etcétera, son los ejemplos de tales equipos. Las cargas no lineales también afectan de manera importante al factor de potencia, y son hoy en día consideradas mayormente en el estudio de la calidad de la energía por su constante presencia en las cargas de los usuarios.

Los equipos eléctricos mencionados en el párrafo anterior se encuentran prácticamente en casi todas las industrias. El  $fp$  que se mide en las industrias, depende del tipo de equipo eléctrico que utilizan para realizar sus procesos

Desde el punto de vista del  $fp$ , en los transformadores interesan dos posibles condiciones de operación: con carga y en vacío. Medido en el primario de un transformador dependerán de la carga que tiene conectada en el secundario, además de que la impedancia equivalente o de cortocircuito del transformador provoca que el  $fp$  en el devanado primario sea menor al del devanado secundario. El  $fp$  de los transformadores que operan en vacío, es de 0.1 aproximadamente. Si la carga no está conectada al secundario, no existen flujos y el transformador operará como si fuera un inductor de núcleo de hierro.

El caso de los motores de inducción es diferente, ya que el  $fp$  depende del tipo de motor, la potencia, del número de polos y del nivel de carga. Los motores de inducción de potencias pequeñas tienen un menor  $fp$  que los de potencias grandes. Esto se debe a que con el aumento de potencia, la corriente de carga se hace mucho mayor que la corriente en vacío, ocasionando que el  $fp$  de máquinas grandes sea mayor al de máquinas pequeñas.

Para evitar penalizaciones y llegar a tener los beneficios de bonificación, los usuarios del servicio eléctrico es necesario recurrir a algún medio para corregir el  $fp$  de sus instalaciones. "Corregir" el  $fp$  significa actuar para incrementar su valor en una sección determinada de la instalación. La corrección tiene un límite que no se debe sobrepasar, lo que quiere decir que, nunca se debe sobre-compensar en una instalación. (Cuaderno de aplicaciones técnicas n° 8, 2012)

## 4 ARMÓNICOS

---

Los armónicos son corrientes o tensiones senoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema de suministro está diseñado para operar (60 Hz), es decir que los armónicos combinados con la fundamental de corriente o tensión producen distorsión de forma de onda. Los armónicos son debidos a características no lineales de los dispositivos y cargas en el sistema.

Estos dispositivos pueden ser fuentes de corriente que inyectan corrientes armónicas en el sistema. La distorsión de tensión es debida a que estas corrientes provocan caídas de tensión no lineales a través de la impedancia del sistema, dicho de otro modo, La distorsión de la corriente provoca la distorsión de la tensión cuando fluye por las impedancias de la red eléctrica.

El fenómeno de las armónicas que más afecta para el caso de los motores eléctricos es el excesivo calor que se produce por las demandas de corriente anormales. Un motor diseñado para consumir a plena carga 150 [A] Podría consumir 180 [A] si la DATC es alta. Este aumento de corriente podría no ser tolerado por el motor y provocaría daños severos al aislamiento y posible colapso del mismo.

La distorsión armónica es una preocupación creciente para muchos clientes y para el sistema de energía global debido a la creciente utilización de equipos de electrónica de potencia.

La inyección de armónicas de corriente de las cargas de los usuarios en el sistema de suministro de red puede ocasionar distorsión armónica de tensión en del sistema de alimentación. Esta distorsión armónica de corriente y de tensión puede ocasionar sobre calentamiento en los equipos de rotación, transformadores y conductores, fallas prematuras u operación de dispositivos de protección (así como fusibles) condiciones de resonancia armónica en el sistema de alimentación de energía eléctrica, que pueden deteriorar aún más la operación del sistema eléctrico y mediciones inexactas

Los equipos que contengan electrónica de potencia pueden tener un mal funcionamiento ante la presencia de distorsiones armónicas ya que en muchos casos estos equipos para su correcto funcionamiento dependen de las señales de cruce por cero.

En equipos electrónicos como computadoras y equipos que tengan en su interior controladores programables es posible algún daño debido a estos armónicos, desde la afectación en su tiempo de vida hasta su funcionalidad.

Los armónicos han estado presentes en los sistemas eléctricos de potencia, pero ha existido un incremento reciente en su magnitud debido al uso de los sistemas electrónicos de potencia. Por ello se ha convertido en un tema clave en las instalaciones. Los armónicos son generados por cargas no lineales.

## 4.1 ORIGEN

---

La norma IEEE 519-1992, relativa a “Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia” agrupa a las fuentes emisoras de armónicas en tres categorías diferentes:

- Dispositivos electrónicos de potencia
- Dispositivos productores de arcos eléctricos
- Dispositivos ferromagnéticos

Algunos de los equipos y procesos que se ubican en estas categorías son:

- Motores de corriente directa accionados por tiristores
- Inversores de frecuencia
- Fuentes ininterrumpidas UPS
- Computadoras
- Equipo electrónico
- Hornos de arco
- Hornos de inducción
- Equipos de soldadura
- Transformadores sobreexcitados

Cada armónica puede ser expresada en términos de su orden<sup>9</sup>. Por otra parte, así como una señal distorsionada se compone de diversas componentes armónicas, así también una señal periódica puede ser descompuesta por sus componentes armónicas.

Una técnica de análisis que permite separar cada componente de la señal distorsionada es mediante un procedimiento que fue realizado por Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), quien demostró que una señal periódica puede ser construida por una onda senoidal a la frecuencia fundamental con un número de senoidal a frecuencias armónicas. Dependiendo del tipo de señal, estos coeficientes pueden o no existir.

Los sistemas eléctricos tienen señales periódicas; por ejemplo, una tensión distorsionada se puede representar como:

$$v(t) = V_1 \cos(\omega t + \theta_1) + V_2 \cos(2\omega t + \theta_2) + V_3 \cos(3\omega t + \theta_3) + \dots \quad (28)$$

O a su vez también como:

$$v(t) = \sum_{h=1}^N V_h \cos(h\omega t + \theta_h) \quad (29)$$

Dónde:

$V_h$  Es la armónica de orden  $h$  y a

$\theta_h$  Como el ángulo de la armónica  $h$

---

<sup>9</sup> Handbook of Power Quality, Angelo Baggingi, pp.188.

La componente fundamental de la señal tendrá la misma frecuencia que la función periódica distorsionada; o lo que es lo mismo  $h=1$  y a las demás componentes de la serie, es decir  $h=2, 3, 4, \dots$ , son las denominadas segunda, tercera, cuarta armónicas; con frecuencias de 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz, ..., respectivamente.

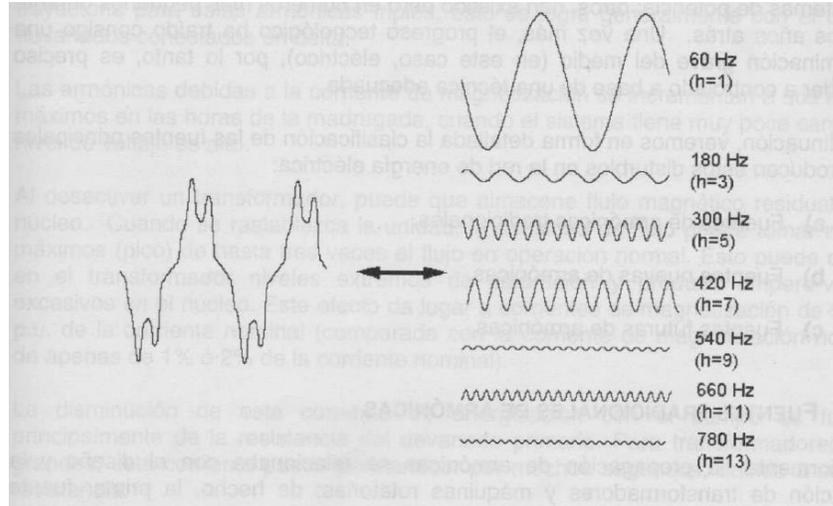


FIGURA 4.1 REPRESENTACIÓN EN SERIE DE FOURIER DE UNA ONDA DISTORSIONADA (Harper, 1999)

El análisis de Fourier aplicado a la tensión y a la corriente distorsionada en un sistema eléctrico, consiste en calcular la magnitud y fase de la fundamental y de cada una de las armónicas. Los resultados de los análisis se pueden representar en forma de un histograma denominado espectro de magnitud. En esta gráfica como su nombre lo indica, informa el valor de cada una de las armónicas, tomando como base el valor de la fundamental.

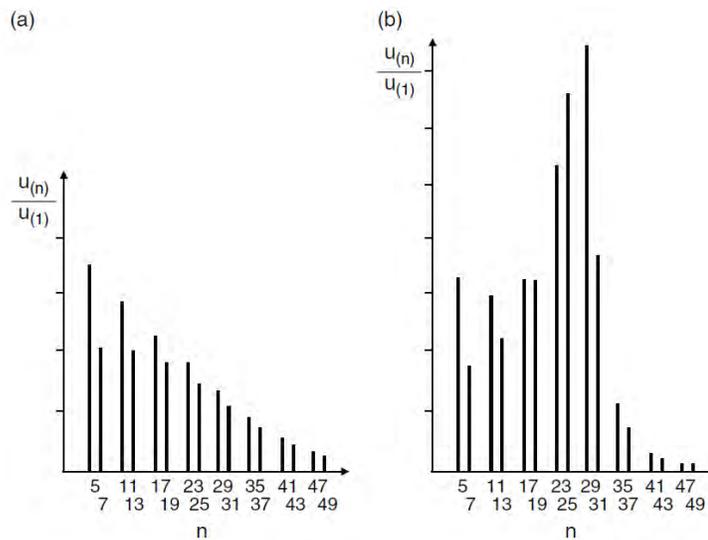


FIGURA 4.2 EJEMPLO DE ESPECTRO ARMÓNICO (Baggini, 1998)

Generalmente para la mayoría de las cargas no lineales, la magnitud de los armónicos disminuye con forma aumenta su orden. Si no existiera resonancia, el máximo valor posible de una corriente armónica expresada en por ciento de la fundamental sería de  $100/h$  donde "h" es el orden de la armónica. Así, la quinta armónica alcanzaría un 20% de la fundamental, mientras que la novena armónica alcanzaría el 11.1%.

## 4.2 VALORES DE DISTORSIÓN.

---

Con el fin de tener una relación balanceada costo/beneficio tanto para los consumidores como para la compañía suministradora sobre los niveles de distorsión permisible, la compañía suministradora tiene el derecho de exigir que no se le contamine a su sistema de distribución, así como el usuario está en exigir el suministro de una energía de buena calidad.

Para determinar que niveles de distorsión armónica son normales o aceptables en un sistema eléctrico de potencia se han desarrollado varios estándares por organizaciones internacionales, en México la referencia que utiliza la C.F.E. en su especificación *L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica*, es la publicada por la IEEE-519.

En ella se establecen los límites de distorsión de tensión en el Punto de Acometida que son responsabilidad de la empresa suministradora, así como evitar condiciones de resonancia en el sistema de potencia que puedan crear niveles de distorsión inaceptable y los límites de distorsión de corriente en el Punto de Acometida que son responsabilidad del consumidor.

---

### 4.2.1 LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE.

---

Los límites de distorsión armónica establecidos en esta norma son para establecer la máxima distorsión de corriente permisible para un usuario, estas recomendaciones son relacionadas con:

$$DATC = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H I_h^2}{I_1^2}} \times 100 \quad (30)$$

Dónde:

$DATC$  Es la distorsión armónica total en corriente

$I_h^2$  Es la componente de la "h" armónica de corriente.

$H$  25 como mínimo

La distorsión en corriente también puede ser dividida por  
Componente de Armónico Individual Máximo de Corriente

$$\frac{I_{hm}^2}{I_1^2} \times 100 \quad (31)$$

Donde

$I_{hm}^2$  Componente armónico de mayor amplitud de corriente.

$Vhm I_1^2$  Componente de corriente de frecuencia fundamental.

Los límites dados en las tablas de la *L-0000-45* son usados como valores de diseño para casos extremos de operación no mayores de una hora). Para periodos cortos, durante condiciones de arranque o condiciones inusuales, los límites pueden ser excedidos por un 50%.

En el caso de la distorsión armónica en corriente los límites están determinados por el tamaño relativo de la carga con respecto al sistema del que se alimenta y se expresa como la relación entre la corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) y la corriente de demanda máxima ( $I_L$ ), a la frecuencia fundamental, los límites se indican a continuación:

Impedancia relativa (lcc/IL)	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares (CAIMC) %					Distorsión armónica total de demanda (DATD) %
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h > 35	
(lcc/IL) < 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 < (lcc/IL) < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 < (lcc/IL) < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 < (lcc/IL) < 1000	12	5.5	5	2	1	15
(lcc/IL) > 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

TABLA 4.1. LÍMITES PERMISIBLES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTE. (CFE-L0000-45)

#### 4.2.2 LÍMITES DE DISTORSIÓN EN TENSIÓN.

La compañía de suministro de energía eléctrica es la responsable de mantener una calidad en la tensión. La distorsión armónica total en tensión está expresada en porcentaje y se define por la siguiente ecuación:

$$DATD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H V_h^2}{V_1^2}} \times 100 \quad (32)$$

$$v(t) = \sum_{h=1}^N V_h \cos(h\omega t + \theta_h)$$

Dónde:

*DATD* Es la distorsión armónica total en tensión.

$V_h^2$  Es la componente de la "h" armónica de tensión.

$V_1^2$  Es la componente de frecuencia fundamental de tensión

*h* Número de armónica

*H* 25 como mínimo

Componente de Armónico Individual Máximo de Tensión

$$\frac{V_{hm}^2}{V_1^2} \times 100 \quad (33)$$

$$v(t) = \sum_{h=1}^N V_h \cos(h\omega t + \theta_h)$$

Dónde

$V_{hm}^2$  Componente armónico de mayor amplitud de tensión.

$V_{hm} V_1^2$  Componente de tensión de frecuencia fundamental.

Los límites permisibles de distorsión armónica en tensión, están determinados por el nivel de tensión nominal del sistema eléctrico bajo análisis, como se indica en la siguiente tabla:

Tensión [kV]	Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %	armónica total de tensión (DATT) %
<b>Menor de 1</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>de 1 a 35</b>	<b>5</b>	<b>6.5</b>
<b>Mayor de 35</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

TABLA 4.2 LÍMITES PERMISIBLES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN TENSIÓN (CFE-L0000-45)

---

### 4.3 CONSECUENCIAS

---

#### 4.3.1 PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LOS ARMÓNICOS.

Debido a que la fuente de suministro de energía presenta una determinada impedancia, las corrientes armónicas de la carga dan lugar a una distorsión de la forma de la onda de tensión (este es el origen de las zonas planas de la onda). Esta impedancia consta de dos elementos: el que procede de la instalación interior desde el punto de acoplamiento común (PCC) y el que corresponde a la fuente de suministro hasta el PCC.

La corriente distorsionada de la carga, producida por una carga no lineal, provoca una caída de tensión distorsionada en la impedancia del cable. La forma de onda de tensión distorsionada resultante se aplica a todas la demás cargas conectadas al mismo circuito, haciendo que por ellas circulen corrientes armónicas, incluso si se trata de cargas no lineales.

Algunos de los problemas producidos por los armónicos de corriente son el bajo factor de potencia, el sobrecalentamiento de alimentadores, aumento en el zumbido característico de los transformadores, posibles condiciones de resonancia, aumento de la corriente que circula por el neutro en un sistema eléctrico, disparo intempestivo de interruptores automáticos (ID), funcionamiento errático de los equipos de control, así como daño en los equipos de instrumentación y/o precisión.

La solución a este problema puede ser mediante: la separación de los circuitos que alimentan a las cargas generadoras de armónicos de los que son cargas que son sensibles a los armónicos, instalando transformadores de aislamiento, instalación de filtros activos o pasivos, reactores de línea.

## 5 TÉCNICAS PARA ATENUAR LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS

---

Como se mencionó anteriormente, no existe una única solución para mitigar los daños ocasionados por los disturbios eléctricos puesto que se pueden presentar varias anomalías a la vez.

Hoy en día existen muchos equipos y dispositivos en el mercado que protegen a las instalaciones de los disturbios, a continuación mencionaremos las más comunes o las más usadas en campo para solucionar los problemas en las instalaciones.

- **Puesta a Tierra Aislada**

Es la instalación de un cableado que conecta a los alimentadores que proveen de energía eléctrica a las cargas sensibles, el cual comprende el cableado normal para una instalación eléctrica, como es la fase, el neutro (o puesto a tierra) y la conexión del conductor desnudo de puesta a tierra que se conecta al cuerpo del contacto, y además de contar con un cable de tierra aislada, el cual es conectado directamente a la subestación, electrodo de tierra o una conexión a tierra física, y se conectará a la entrada de tierra en el receptáculo, el cual debe ser del tipo “tierra aislada”. Esta propuesta soluciona problemas de ruido en la línea e impulsos provenientes de otros equipos en el sistema de puesta a tierra.

- **Línea Dedicada**

Es la implementación de un tablero de uso exclusivo para las fuentes de tipo no lineal, para prevenir la contaminación del suministro a otros equipos. Esto soluciona los problemas de impulsos o cortes momentáneos de energía provenientes de equipos conectados al mismo circuito o tablero, aunque no logra dar solución a todos los problemas debidos a la interacción de cargas salvo las que llegan a presentarse dentro de un mismo circuito.

- **Transformador de Aislamiento**

Son dispositivos magnéticos que ofrecen una separación física entre la entrada y la salida del mismo. Puede solucionar la presencia de ruido, la contaminación de armónicas de otras fuentes y también caídas de tensión. Estos pueden ser de tipo normal o con un factor K, el cual además de brindar la protección mencionada, es capaz de soportar las corrientes de armónicas, e incluso se pueden encontrar con filtros para la mitigación de las mismas. El factor K es una constante que nos indica la capacidad que posee el transformador para alimentar cargas no lineales (por ejemplo: hornos de inducción, Drive, sistemas de cómputo) sin exceder la temperatura de operación para la cual está diseñado. A su vez, cumple la función de ser un indicador de la capacidad del transformador para soportar el contenido de corrientes armónicas, mientras se mantiene operando dentro de los límites de temperatura para la cual está diseñado



FIGURA 5.1 EJEMPLO DE TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO COMERCIAL<sup>10</sup>.

- **Filtros**

Los filtros son elementos eléctricos lineales que discriminan el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro y su capacidad. Solucionan problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica de la frecuencia en la que se encuentre sintonizado. Pero la colocación de los filtros se debe realizar con cuidado, ya que estos están muy limitados por la cantidad de corriente que son capaces de filtrar, en la figura 6.2 podemos apreciar un diagrama unifilar de un filtro de armónicos en una instalación eléctrica.

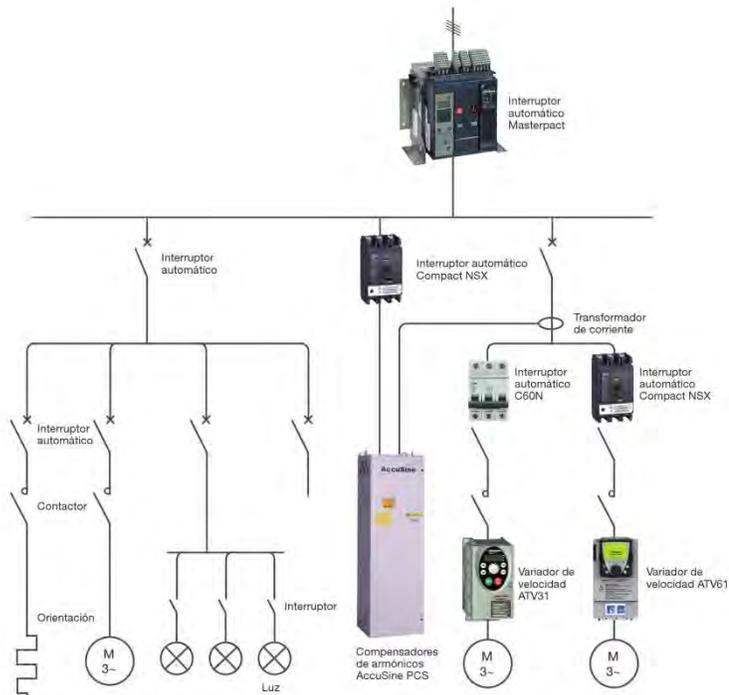


FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE UN FILTRO DE ARMÓNICO INTEGRADO EN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> <http://www.cl.all.biz/img/cl/catalog/53045.jpeg>

<sup>11</sup> <http://www.schneiderelectric.es/images/pictures/solutions/energy-efficiency/ee-soluciones/optimizacion-tarifas-energeticas-filtrado-armonicos-alta.jpg>

- **Supresores de Sobretensión Transitoria (o de Picos)**

Es un dispositivo eléctrico que es capaz de bloquear tensiones que se producen en el suministro eléctrico o por descargas atmosféricas, que son llevadas de forma segura lejos de los equipos a proteger. Los supresores protegen a la instalación contra elevaciones repentinas y de corta duración en la tensión, aunque si estas se presentan con una duración mayor a la que establece el equipo, los fusibles se pueden quemar, al igual que si el valor de tensión eficaz que se tiene en la línea es mayor al que se especifica en el equipo.

- **Acondicionador o Regulador de Línea**

Son equipos eléctricos que controlan la salida de tensión mediante dispositivos electrónicos, brindando una salida con menor variación. Estos tienen la capacidad de solucionar los problemas de variaciones de tensión de corta duración, transitorios y de aislar las cargas de otras fuentes, esto último si el acondicionador tiene un dispositivo que proporcione aislamiento, como un transformador.



FIGURA 5.3 ACONDICIONADORES DE LÍNEA<sup>12</sup>

- **Sistemas de Energía Ininterrumpible (UPS)**

Una UPS es una fuente de suministro eléctrico que compuesto por un banco de baterías, un transformador y componentes electrónicos. Tienen el fin de proporcionar energía a un dispositivo en el caso de interrupción eléctrica. Existen dos tipos, los denominados off-line y los on-line, los primeros se encargan de monitorear la entrada de energía, y en cuanto detectan alguna falla en esta, cambian su alimentación, tomándola de las baterías, esta transferencia en la energía puede tomar algunos milisegundos sin embargo es imperceptible para la carga. Los online evitan esos milisegundos sin energía al producirse un corte eléctrico, pues proveen alimentación constante desde su batería y no de forma directa de la red. Cualquiera que sea el tipo estos sistemas proveen protección contra, transitorios, variaciones de tensión de corta duración, aíslan cargas y filtran ruidos así como algunos armónicos. Es importante mencionar que una UPS sin transformador no proporciona aislamiento, ya que la carga se conecta con el suministro a través del rectificador e inversor.

---

<sup>12</sup> <http://www.fernandezfica.cl/img/Productos/801.png>

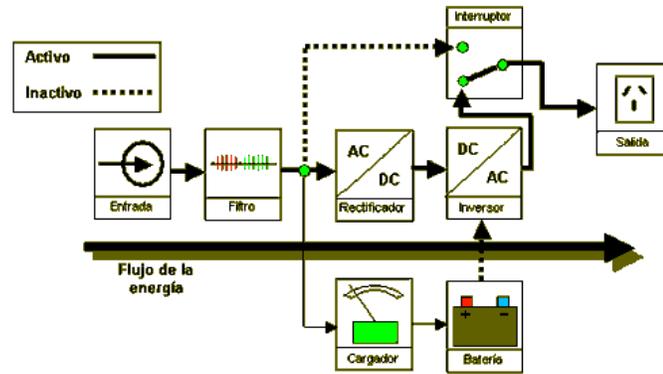


Fig.4 **UPS On-Line** / Funcionamiento en modo línea normal

FIGURA 5.4 DIAGRAMA DE CONMUTADOR (TRANSFER) USADO EN UN UPS TIPO ON-LINE<sup>13</sup>

<sup>13</sup> <http://unicrom.com/wp-content/uploads/UPS-On-line-modo-normal.gif>

## 6 DEPENDENCIAS MONITOREADAS

### 6.1 DATOS GENERALES DE LAS DEPENDENCIAS.

Los monitoreos usados para la caracterización de la calidad de la energía eléctrica en las dependencias de la UNAM han sido obtenidos gracias al laboratorio de Proyectos de Ahorro de Energía (PAE) de la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria, cabe mencionar que de entre la gran cantidad de monitoreos que en el PAE se elaboran se han elegido los que mostraron en su momento anomalías considerables que podrían derivar en posibles daños a los usuarios y a los inmuebles. Puesto que a pesar de que algunas instalaciones que se sometieron a monitoreo tienen más de 50 años, las condiciones de las mismas son en general buenas debido al constante mantenimiento del personal de cada dependencia. Los monitoreos no fueron manipulados en resultados solo en formato, para dar una muestra fidedigna de la situación de las instalaciones eléctricas de las instituciones de la UNAM.

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	EQUIPO	TENSIÓN	Capacidad [kVA]	%Z	Interruptor Principal [A]	Icc [A]*	IR=Icc/IL
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	TR	220	750	6.16	3 X 2000	31,952	95
	INST. BIOLOGÍA	TR	220	750	4.86	3 X 2500	40,499	108
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	TAB	220	236	-	3 X 600	20,645	76
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	TR	220	750	4.26	3 X 2500	46,203	90
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	TR	220	150	3.3	3 X 400	11,929	131
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	TR	220	300	4.28	**	18,395	160
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	TR	220	112.5	4.28	3 X 350	6,898	61
	FAC. QUÍMICA D	TR	220	750	4	3 X 2000	49,206	164
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	TR	220	225	4	3 X 1600	14,762	55
	RECTORÍA	TR	220	750	4.91	3 X 2000	40,086	65
	TORRE DE INGENIERÍA	TR	220	500	4	**	32,804	94
	TORRE II HUMANIDADES	TR	220	750	6.45	3 X 2500	30,515	43
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	TAB	220	457	-	3 X 1200	40,000	248
	ACAD. DE SAN CARLOS	INT	220	152	-	3 X 400	13,333	88
	MUSEO DE LA LUZ	TAB	220	152	-	3 X 400	13,333	143
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	INT	220	610	-	3 X 1600	53,333	513

\* Se consideró el método de bus infinito.

\*\* Indica que no se cuenta con la información.

TABLA 6.1 DATOS GENERALES DE LAS DEPENDENCIAS MONITOREADAS<sup>14</sup>

La tabla 6.1 contiene los datos generales de las dependencias monitoreadas que fundamentan este trabajo escrito, clasificando la información de acuerdo a la actividad laboral preponderante en cada institución. Por ejemplo, se tomaron para caracterizar las actividades de **Instrumentación e Investigación** a los Institutos de Biología, Ciencias Nucleares y de Investigaciones Biomédicas que se ubican en el Circuito de Investigación de Ciudad Universitaria. Además de incluir al Centro Compartido de Investigación en Química Sustentable (C. C. I. Q. S.) con sede en Toluca, Estado de México. En estos centros de investigación, el tipo de carga que predomina son los equipos de precisión, instrumentación

<sup>14</sup>Para fines prácticos en esta tesis, los monitoreos realizados en tableros e Interruptores fueron considerados como transformadores con una Z% de 3.0.

y análisis que requieren de tensión, corriente y frecuencia en un valor regulado debido a que de ello depende su correcto funcionamiento, además de considerar el alto costo y el tiempo que representaría reemplazar alguno de estos equipos dada una falla por suministro de energía eléctrica.



FIGURA 6.1 PUNTO DE INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES (SUBESTACIÓN) EN EL C. C. I. Q. S.

La actividad **Académica** engloba a los edificios en los que predominan las aulas, centros de enseñanza y de lectura, lugares donde la mayoría del tiempo se mantiene las luces encendidas y existe un número promedio de equipo de cómputo fijo, que sería la carga más representativa en este tipo de inmuebles. Para este caso se tomaron los monitoreos elaborados en las Facultades de Ciencias (edificios de Biología y Física), y Química (edificio D) de Ciudad Universitaria.



FIGURA 6.2 PLACA DE DATOS DE TRANSFORMADOR DEL EDIFICIO D DE LA FACULTAD DE QUÍMICA.

Los monitoreos de parámetros eléctricos elaborados en los edificios de los Consejos Académicos, la Rectoría de la UNAM, la Torre de Ingeniería y la de Humanidades representan a la actividad **Administrativa**. Si bien estos inmuebles también mantienen las luminarias encendidas durante la mayoría del tiempo laborable, a diferencia de la caracterización de la actividad Académica estos sitios cuentan con un número alto de equipos de cómputo fijos puesto que hoy en día desde los auxiliares y secretarías, hasta los directivos requieren de una computadora para realizar sus actividades diarias. Es

importante recordar que los equipos de cómputo y sus periféricos son considerados cargas no lineales y por ende, fuentes de corrientes armónicas.



FIGURA 6.3 EDIFICIO DE LA RECTORÍA DE LA UNAM, CIUDAD UNIVERSITARIA<sup>15</sup>

Finalmente para la actividad **Recreativa** se consideraron los monitoreos elaborados en los museos de la Luz, Palacio de San Ildefonso, Academia de San Carlos y Palacio de la Autonomía, todos ubicados en el Centro Histórico de la Ciudad de México siendo algunas antiguas cedes de las escuelas que formaban la Universidad de México y que tienen más de 100 años de historia entre sus muros. Este tipo de instalaciones se caracteriza por contar con una constante iluminación dedicada además de equipo especial para exposición que requiere que el suministro de energía sea estable y de condiciones óptimas. No se puede descartar el hecho que, como se mencionó anteriormente, la mayoría de estos edificios tienen la peculiaridad de mantener muchos años en servicio, lo cual genera curiosidad acerca del comportamiento de los parámetros eléctricos en este tipo de lugares.



FIGURA 6.4 PALACIO DE LA AUTONOMÍA, CENTRO HISTÓRICO<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> <http://d8nz9a88rWSC9.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/02/rectoria-unam.jpg>

<sup>16</sup> <http://www.nextmap.com.mx/img%20NP09/CMPAutonomiaSS01.jpg>

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE MONITOREOS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS  
EN DEPENDENCIAS DE LA UNAM, SEGUN SU ACTIVIDAD PREPONDERANTE

---

La siguiente tabla, muestra las fechas en que fueron realizadas los monitoreos en cada una de las dependencias, así como el periodo de muestreo, duración del monitoreo y el equipo que fue utilizado para la captura de los datos.

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	PERIODO	TIEMPO DE MUESTREO [min]	EQUIPO
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	31/01/12-07/02/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	INST. BIOLOGÍA	27/04/12-04/05/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	24/07/11-31/07/11	5	HT ITALIA VEGA 78
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	22/08/12-29/08/12	5	HT ITALIA VEGA 78
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	20/11/12-23/11/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	14/11/12-16/11/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	27/11/12-30/11/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	FAC. QUÍMICA D	26/04/12-03/05/12	5	AEMC 3945
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	30/10/13-31/10/13	5	HT ITALIA VEGA 78
	RECTORÍA	16/06/14-23/06/14	5	HT ITALIA PQA 824
	TORRE DE INGENIERÍA	12/02/13-19/02/14	5	AEMC 3945
	TORRE II HUMANIDADES	23/09/14-26/09/14	5	HT ITALIA VEGA 78
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	01/10/12-08/10/12	5	AEMC 3945
	ACAD. DE SAN CARLOS	28/09/12-05/10/12	5	HT ITALIA VEGA 78
	MUSEO DE LA LUZ	31/05/12-07/06/12	5	AEMC 3945
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	31/05/12-07/06/12	5	HT ITALIA VEGA 78

TABLA 6.2 DATOS DE MONITOREOS.

## 6.2 PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

---

Antes de realizar un monitoreo es importante realizarse las siguientes preguntas, con el fin de que el procedimiento a realizar no tenga complicaciones y se vea en la necesidad de volver a realizar la medición.

### **¿Por qué medir los parámetros eléctricos?**

En el sentido estricto, los parámetros que se analizarán nos permitirán saber el comportamiento de la energía eléctrica y la manera en que es utilizada. Adicionalmente podremos saber la causa de las fallas que las instalaciones presentan al hacer los monitoreos.

### **¿Qué tipo de parámetros de calidad de la energía eléctrica queremos medir?**

Esto dependerá del usuario y que tanto desea saber acerca de lo que ocurre con su instalación eléctrica. Generalmente los parámetros que se analizan en un monitoreo son: tensión, corriente, frecuencia, potencia (activa y reactiva), demanda, desbalance de tensión y corriente, distorsión armónica.

### **¿Dónde debemos colocar el equipo de medición?**

Cuando el análisis se desea emplear para solucionar problemas cercanos a algún equipo sensible deberá ser ubicado cerca de la misma, es decir cerca del centro de carga al que esté conectado. Por otra parte, cuando el monitoreo es empleado para analizar la calidad de la energía en todo el inmueble, el equipo debe ser localizado en el lado secundario del alimentador general (subestación).

### **¿Qué tanto debe durar la medición?**

*El periodo mínimo de monitoreo es de una semana (CFE-L0000-45), sin embargo debido a problemas con el guardo del equipo de monitoreo, el tiempo de medición fue menor.*

### **¿Cuáles son los pasos a seguir para elaborar un monitoreo?**

1. **Planificación del estudio.** Todas las personas involucradas deben participar en la planificación del estudio y acordar una fecha para instalar el equipo así como el periodo de monitoreo.
2. **Preparación del estudio.** Se seleccionan los instrumentos apropiados para el monitoreo (analizador de redes eléctricas, pinzas de corriente, pinzas de tensión, herramienta, así como equipo de protección básico que incluye: botas de seguridad dieléctricas, casco, guantes dieléctricos, ropa de algodón, tapones auditivos Todo con el fin de evitar accidentes.
3. **Inspección del sitio.** La localización óptima del analizador puede ser poco accesible e inhóspita, por lo que la revisión previa del sitio es indispensable. La instalación debe ser de acuerdo al código de seguridad que aplique en el sitio, debido a que no debe cortarse el suministro de energía eléctrica.
4. **Monitoreo de parámetros.** Una vez localizado el punto para colocar el analizador, este deberá permanecer conectado durante el periodo de tiempo designado; en ocasiones, cuando el periodo es muy grande, será necesario descargar los datos del instrumento periódicamente. En algunos casos, la memoria del equipo no es suficiente para el periodo en el cual estará instalado el equipo. Por ello es necesario ajustar los tiempos de muestreo, una frecuencia alta de muestreos podría llenar la memoria dejando trunco el análisis que se desea realizar.

5. **Análisis del monitoreo e inspección de datos.** Una vez que el analizador terminó de recolectar la información durante el periodo indicado, el siguiente paso es el análisis e interpretación de los datos obtenidos. Varios tipos de análisis pueden realizarse con estos datos; por ejemplo, análisis RMS, análisis de forma de onda, análisis de transitorios<sup>17</sup>, análisis de tendencia, análisis armónico, etc. Algunos fabricantes de equipo ofrecen software para la visualización de los datos y tienen la capacidad de generar reportes automáticamente. Sin embargo, la correcta interpretación de los resultados de estas herramientas sólo puede ser realizada por la experiencia del personal involucrado. (Baggini, 1998)
- 

### 6.2.1 EQUIPOS ANALIZADORES

---

A continuación se muestran los equipos analizadores utilizados en los monitoreos en cuestión.



FIGURA 6.5 HT ITALIA VEGA 78<sup>19</sup>



FIGURA 6.6 HT ITALIA PQA 824.

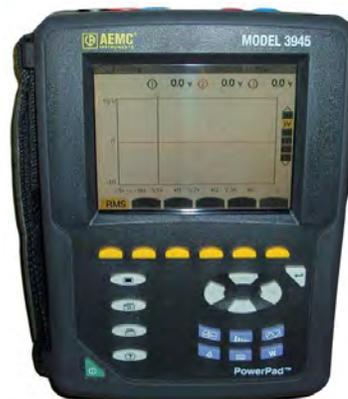


FIGURA 6.7 ANALIZADOR DE REDES AEMC

---

<sup>17</sup> Los transitorios son incrementos de tensión y/o corriente con magnitudes de hasta miles de volts y amperes que se transmiten a través de los elementos de un sistema eléctrico en alta, media y baja tensión.

<sup>19</sup><http://www.htinstruments.es/analizador-de-redes-profesionales-para-la-medida-registro-de-los-parametros-de-red-segun-la-en50160>

## 6.2.2 CONFIGURACIÓN

La configuración en cada uno de los equipos es muy similar, tan solo cambia la presentación, sin embargo para fines prácticos sólo se enlistan los pasos a seguir, para la conexión de un analizador HT Italia.

- Selección del tipo de sistema a conectar. Para realizar la conexión del analizador se tendrá que conocer el tipo de sistema; es decir, si es monofásico, trifásico a 3 Hilos o 4 Hilos.

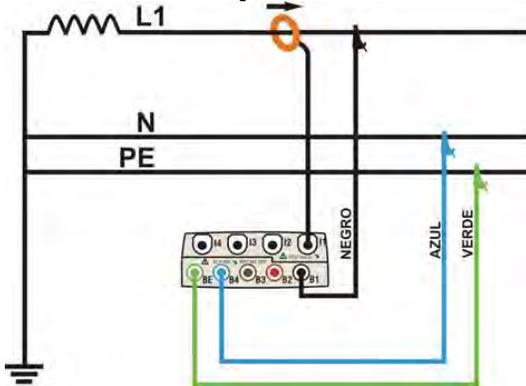


FIGURA 6.8 CONEXIÓN DEL ANALIZADOR EN UN SISTEMA MONOFÁSICO.

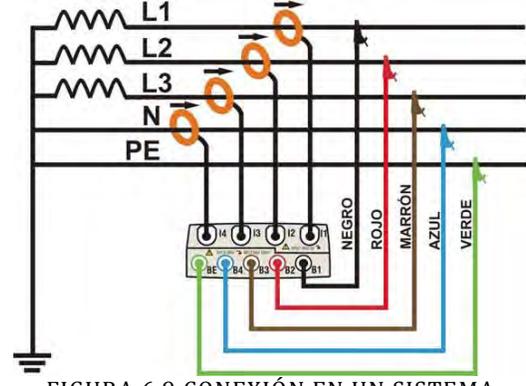


FIGURA 6.9 CONEXIÓN EN UN SISTEMA TRIFÁSICO A 4 HILOS.

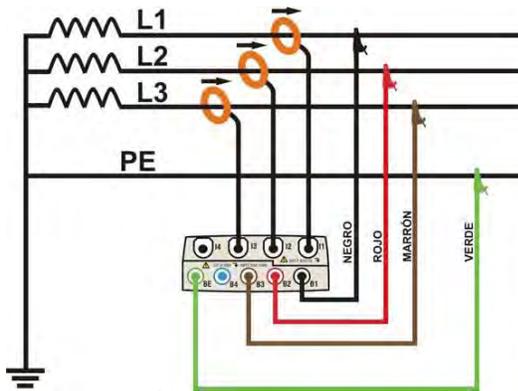


FIGURA 6.10 CONEXIÓN EN UN SISTEMA TRIFÁSICO A 3 HILOS

- Se conectan las pinzas de tensión, comenzando por la tierra. Y se verifican las secuencias de fases.
- A continuación las donas de corriente.
- Configuración de registro.

Se programa la fecha de inicio y fin de las mediciones y se realiza la selección de los parámetros que se desean monitorear, así como el tipo de análisis a efectuar.



FIGURA 6.11 MENÚ GENERAL (HT ITALIA).



FIGURA 6.12 PANTALLA CONFIGURACIÓN REGISTRO (HT ITALIA).

Los parámetros que se pueden seleccionar se encuentran:

- Frecuencia
- Tensión de línea
- Corriente de línea
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente
- Factor de potencia

### 6.3 INTERPRETACIÓN DEL MONITOREO

Finalmente cuando los datos obtenidos son descargados para su análisis en computadora, se puede decir que se llegó al momento más crítico del proceso puesto que la interpretación de la información debe ser lo más asertiva con el fin de generar conclusiones o encontrar soluciones a las anomalías que se presentan en el sistema que se ha monitoreado.

Por ejemplo, cuando el monitoreo muestra que existen interrupciones de energía, es posible que sean provocadas por fallas en el suministro si el tiempo de interrupción es prolongado, sin embargo, si las interrupciones son cortas, es posible que sea por alteraciones en el transformador, por lo que se puede sugerir una inspección del equipo, mantenimiento correctivo o en su defecto el reemplazo del mismo.

Cuando se ha detectado que existen altas magnitudes de frecuencias armónicas (3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 7<sup>a</sup> las más comunes), es necesario revisar los puntos de reducción-elevación de voltaje, así como revisar el tipo de carga que está conectada al suministro, si es carga en su mayoría no lineal, es imprescindible instalar

un acondicionador de línea o un transformador como filtro de armónicas que se dimensiona de acuerdo a la magnitud del consumo de la institución.

Si se observa en el monitoreo que existe desbalance en tensión o corriente, que es la anomalía más común en las instalaciones eléctricas trifásicas, se puede sugerir que se realice un balanceo esquemático de toda la carga instalada para que el porcentaje de desbalance se reduzca, esto ayuda a prevenir que las magnitudes de corriente armónicas sean menores, además de permitir que el transformador o subestación tenga un funcionamiento más adecuado en sus tres fases.

Si al analizar los datos encontramos que existen sobre-corrientes o bajos niveles de tensión, es importante revisar si existen equipos de aire acondicionado o maquinas rotatorias conectadas a estos alimentadores. En este caso se sugeriría que estos equipos se alimenten de un tablero exclusivo para fuerza y sea separado de los de uso común como alumbrado y contactos.

Cuando aparecen en el monitoreo registros de bajo factor de potencia, se sugiere que para evitar multas por parte de la compañía suministradora, se instale carga de tipo capacitiva como pueden ser bancos de capacitores o reactores con impedancia capacitiva.

Cada tipo de anomalía deberá ser tratada de acuerdo al impacto que tiene en la instalación, sean disturbios transitorios o de estado estable es importante tener en cuenta que a largo plazo generan daño en los equipos eléctricos. Adicionalmente, es importante plantear a la dependencia la realización de un mantenimiento correctivo y/o preventivo con el fin de evitar eventuales accidentes que ponga en riesgo la vida de los usuarios y los bienes materiales de estos.

---

### 6.3.1 NORMATIVIDAD.

---

Para tener un punto de comparación, es decir cómo saber si un parámetro es adecuado o no, es necesario el uso de normas.

Las normas que rigen a las instalaciones eléctricas en nuestro país, además de los códigos y legislaciones que en su caso apliquen en los inmuebles donde se instalen los analizadores.

Las normas fundamentales que aplican a las dependencias de la UNAM son:

- Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas (utilización), NOM-001-SEDE-2012.
- Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica. Especificación CFE L0000-45.
- Norma Oficial Universitaria, Instalaciones Electromecánicas, emitida por la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM (D.G.O. y C.)

## 7 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

### 7.1 DEMANDA

La demanda se puede definir como el promedio de la carga eléctrica en un intervalo de tiempo, en la tabla 7.1 se muestran los valores máximos que se presentaron en las dependencias monitoreadas.

DEMANDA					POTENCIA DISPONIBLE [%]	
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	MAXIMA			PROMEDIO	
		[kW]	[kVA]	[%]		
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	117.70	117.90	15.72	84.28	75.04
	INST. BIOLOGÍA	129.40	131.40	17.52	82.48	
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	94.43	95.13	43.44	56.56	
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	162.70	173.80	23.17	76.83	
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	23.73	26.62	17.75	82.25	80.10
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	36.12	37.42	12.47	87.53	
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	37.22	39.41	35.03	64.97	
	FAC. QUÍMICA D	100.14	107.71	14.36	85.64	
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	86.97	91.79	40.80	59.20	61.10
	RECTORÍA	216.10	222.10	29.61	70.39	
	TORRE DE INGENIERÍA	237.94	246.43	50.71	49.29	
	TORRE II HUMANIDADES	223.20	258.60	34.48	65.52	
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	54.31	55.46	12.13	87.87	83.98
	ACAD. DE SAN CARLOS	43.48	44.32	29.08	70.92	
	MUSEO DE LA LUZ	25.62	26.34	17.28	82.72	
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	31.74	34.14	5.60	94.40	

TABLA 7.1. DEMANDAS REGISTRADAS.

En la tabla anterior se puede observar que la capacidad de las dependencias están sobredimensionadas, ya que en la mayoría se tiene una potencia disponible<sup>20</sup> por encima del 60%, en promedio se está usando tan solo el 30% de la capacidad instalada, esto representa tener una disponibilidad importante para un crecimiento en la carga a futuro, es decir, que disponemos en promedio de un 70% de la potencia que nos puede entregar el equipo, sin embargo, esto genera un desgaste en cada uno de los transformadores al no ser usados cerca del valor nominal para el que fueron diseñados, pues los devanados se exponen a corrientes parásitas.

Como ejemplo del sobredimensionamiento podemos mencionar al transformador que alimenta al Instituto de Biología, que se muestra en la figura 10.1, de anexo A, que representa el comportamiento de este parámetro en dicha dependencia, se puede notar que durante el día la demanda crece debido a las actividades académicas, y durante la noche este valor disminuye. También se aprecia que el valor de mayor demanda se presenta aproximadamente a medio día. Cabe hacer mención que la capacidad instalada de dicho transformador esta sobrada, respecto a la demanda que se registra durante la medición.

<sup>20</sup>Se entiende como potencia disponible a aquella que se obtiene de la diferencia de la capacidad de instalada y la demanda máxima.

## TRANSFORMADOR 750 [kVA] POTENCIA DISPONIBLE



FIGURA 7.1 POTENCIA DISPONIBLE EN INSTITUTO DE BIOLOGIA

La potencia demandada se muestra de mejor manera en la gráfica 10.1, en el apartado de anexos.

## 7.2 TENSIÓN

El análisis de la tensión se realizó de acuerdo al “Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica” donde se permite un rango de variación de tensión de  $\pm 10\%$  de la tensión nominal del sistema.

En la siguiente tabla se observa que la variación de tensión<sup>21</sup> se presentan en mayor medida en las dependencias que se encuentran fuera de Ciudad Universitaria, las cuales corresponden a las actividades Recreativas, en el centro histórico de la Ciudad de México y al CCIQS, que se localiza en Toluca, éstas superan los 2.7% de variación en tensión, sin embargo no superan el límite establecido. Las demás restantes, ubicadas en el campus CU, en promedio tienen una variación de 1.9%, lo que refleja que en términos generales, se tiene una mejor regulación de tensión comparada con las antes mencionadas.

VARIACION DE TENSIÓN												¿CUMPLE Art. 18.II?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	A			B			C			Max $\Delta$ %	<10%
		MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM		
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	127.2	119.7	124.2	128.0	120.4	125.1	128.2	120.9	125.3	4.1%	SI
	INST. BIOLÓGÍA	132.1	126.9	129.5	131.3	126.9	129.1	131.4	127.3	129.4	2.1%	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	129.1	125.2	127.3	129.7	125.6	128.0	130.2	126.1	128.0	2.0%	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	128.9	124.6	126.9	128.3	124.3	126.4	128.5	124.7	126.6	1.9%	SI
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLÓGÍA N1	134.6	131.2	133.1	134.7	131.3	133.1	135.2	131.9	133.6	1.5%	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLÓGÍA PB	134.9	131.3	133.3	134.9	130.9	133.1	134.8	131.0	133.1	1.7%	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	134.6	131.0	133.0	134.4	130.6	132.5	134.2	130.8	132.6	1.6%	SI
	FAC. QUÍMICA D	128.0	123.6	126.2	127.8	123.5	125.9	128.4	123.8	126.4	2.1%	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	127.4	123.5	125.6	127.7	123.7	125.9	127.2	123.3	125.3	1.9%	SI
	RECTORÍA	126.5	121.7	124.5	126.2	121.8	124.3	126.6	122.3	124.8	2.3%	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	127.5	122.8	125.5	127.9	122.8	125.9	127.6	123.4	125.8	2.4%	SI
	TORRE II HUMANIDADES	128.4	126.7	127.5	128.7	126.7	127.7	128.3	126.3	127.4	1.0%	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	126.2	119.0	122.9	127.6	118.1	124.2	128.3	122.5	126.0	5.0%	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	136.9	126.3	132.5	136.8	130.1	134.0	135.7	125.7	131.5	5.2%	SI
	MUSEO DE LA LUZ	130.1	117.7	126.0	129.2	114.8	125.8	128.4	121.8	125.5	8.7%	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	129.3	123.5	126.6	128.8	122.8	125.5	129.5	123.1	126.4	2.7%	SI

TABLA 7.2 VALORES DE TENSIÓN REGISTRADOS.

Si alguno de los equipos que se alimentan de este transformador fuera susceptible a la falta de suministro o requiera que la alimentación fuera regulada en un nivel específico de tensión, estas anomalías estarían dañando o se presentarían funcionamientos erráticos.

Se recomienda la implementación de un acondicionador de línea o un regulador de tensión, con el fin de entregar un parámetro mucho más estable a este tipo de carga tan sensible, sobre todo debido al alto costo que representaría su reparación o su reemplazo en caso de falla total.

En el Anexo A, se muestran algunas anomalías de tensión registradas.

<sup>21</sup> Referido al cociente entre la máxima diferencia entre las tensiones de fase y la tensión promedio, con la tensión promedio.

### 7.3 DESBALANCE DE TENSIÓN

Con base en la especificación *CFE L0000-45, Tabla 6, Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida*, el Desbalance en Tensión máximo permitido para Tensiones mayores a 1 kV en el Punto de Acometida es de 3%.

La tabla 7.3 muestra el desbalance de tensión en cada una de las dependencias y de acuerdo a lo especificado en el párrafo anterior todos los valores de desbalance de tensión están por debajo del máximo aceptable por la especificación de CFE. El Antiguo Colegio de San Ildefonso presentó el mayor valor en distorsión con 1.53 %, esto puede ser debido a que es una instalación con muchos años de servicio activo.

DESBALANCE TOTAL EN TENSIÓN [%]				¿CUMPLE CFE L000- 45?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	PROMEDIO	LÍMITE	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	0.55	3	SI
	INST. BIOLOGÍA	0.23	3	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	0.37	3	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	0.20	3	SI
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	0.26	3	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	0.15	3	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	0.24	3	SI
	FAC. QUÍMICA D	0.22	3	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	0.26	3	SI
	RECTORÍA	0.26	3	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	0.76	3	SI
	TORRE II HUMANIDADES	0.14	3	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	1.53	3	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	1.21	3	SI
	MUSEO DE LA LUZ	0.67	3	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	0.56	3	SI

TABLA 7.3 DESBALANCE TOTAL EN TENSIÓN POR ACTIVIDAD PREPONDERANTE.

Respecto a este parámetro y bajo las condiciones reflejadas en la tabla no habría necesidad de implementar alguna solución, sin embargo, de requerirse se sugiere un balanceo dinámico en las cargas conectadas en cada fase de los alimentadores para mitigar esta anomalía.

### 7.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA EN TENSIÓN

La siguiente tabla muestra los valores de distorsión armónica en tensión y con base en la especificación CFE L0000-45, Tabla 2. Límites máximos de distorsión armónica total en tensión y de CAIMT en el punto de acometida, la Distorsión Armónica Total en Tensión máxima permitida para Tensiones menores a 1 kV es de 8 %.

Se aprecia en la tabla 7.4 que el valor promedio de la Distorsión Armónica Total en Tensión (DATT) en cada una de las dependencias no sobrepasa el límite máximo permitido por la normatividad, así como se puede observar que el valor promedio máximo que se presentó fue en la Academia de San Carlos con 2.95%. En general estos valores no representan riesgo alguno, sin embargo existe la posibilidad de que ésta distorsión provoque una mayor distorsión armónica en corriente en los equipos, ya que se están alimentando de una tensión contaminada.

En la gráfica 10.5 se presenta el comportamiento de dicho parámetro en esta dependencia.

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL PROMEDIO EN TENSIÓN [%]							¿CUMPLE CFE L000-45?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	A	B	C	PROMEDIO	LÍMITE	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	1.52	1.27	1.30	1.36	8	SI
	INST. BIOLOGÍA	1.12	1.05	1.07	1.08	8	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	1.34	1.43	1.59	1.45	8	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	0.92	0.94	0.91	0.92	8	SI
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	1.30	1.22	1.18	1.23	8	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	2.00	2.14	1.78	1.97	8	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	1.55	1.43	1.11	1.36	8	SI
	FAC. QUÍMICA D	1.02	0.92	0.95	0.96	8	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	2.30	2.41	2.26	2.32	8	SI
	RECTORÍA	1.66	1.46	1.81	1.64	8	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	1.18	1.22	1.06	1.15	8	SI
	TORRE II HUMANIDADES	1.60	1.92	1.78	1.77	8	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	3.15	3.11	2.14	2.80	8	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	3.10	2.75	2.99	2.95	8	SI
	MUSEO DE LA LUZ	1.86	1.98	1.75	1.86	8	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	1.43	1.26	1.45	1.38	8	SI

TABLA 7.4 DATT REGISTRADAS.

## 7.5 CORRIENTE

En la siguiente tabla se muestran los valores máximos, mínimos y promedios de la corriente por fases registradas en cada uno de los monitoreos realizados.

CORRIENTE													
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	A			B			C			N		
		MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	291.6	0.0	147.7	322.0	0.0	152.8	334.9	0.0	140.6	64.7	2.8	17.6
	INST. BIOLOGÍA	374.4	115.1	202.7	343.8	99.9	180.3	328.8	96.2	172.0	103.0	9.3	39.7
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	242.0	68.4	127.3	246.5	85.8	138.7	272.1	99.6	160.2	48.7	11.6	20.6
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	454.9	130.8	257.2	511.7	164.0	303.2	466.7	133.8	261.6	-	-	-
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	91.2	29.6	57.3	73.2	22.3	40.4	47.3	13.2	29.0	35.4	7.9	21.4
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	115.0	27.5	46.5	74.4	26.3	42.1	96.0	28.7	45.9	35.9	5.4	16.0
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	114.0	40.2	64.5	108.6	32.2	57.7	79.0	25.9	45.9	37.3	15.1	22.8
	FAC. QUÍMICA D	277.8	58.0	133.7	299.5	60.9	138.1	288.0	48.2	123.7	115.6	24.1	52.6
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	269.3	70.9	154.0	233.6	67.7	140.0	236.3	66.3	138.7	47.9	9.0	22.6
	RECTORÍA	610.4	105.3	324.2	615.8	79.6	293.5	619.5	94.8	303.9	111.5	23.7	54.0
	TORRE DE INGENIERÍA	349.9	116.3	195.0	325.3	109.4	183.9	326.3	104.5	179.3	13.3	10.5	11.7
	TORRE II HUMANIDADES	675.8	180.3	302.2	661.6	208.7	315.3	713.4	208.8	335.3	272.6	44.3	137.4
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	161.6	75.7	110.5	156.7	63.2	104.3	134.9	46.0	77.8	61.9	21.1	38.6
	ACAD. DE SAN CARLOS	150.7	16.2	51.0	93.2	7.0	26.7	126.1	11.9	39.9	69.7	10.6	25.6
	MUSEO DE LA LUZ	93.3	0.0	39.5	69.4	11.4	37.9	75.1	17.8	38.9	55.9	13.4	22.7
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	103.9	22.6	59.8	98.4	22.6	59.4	80.2	22.3	48.6	10.6	0.1	5.5

- Indica que se usó una configuración en delta.

TABLA 7.5 CORRIENTES REGISTRADAS.

De esta información podemos decir que ninguna dependencia cuenta con un sistema balanceado debido, esto lo podemos observar por los valores que varían entre fases, así como la presencia de corriente en el neutro, sin embargo, estos valores son bajos a comparación a los de sus respectivas fases, no obstante representa posible daño en los conductores.

Lo anterior se puede ver en la Tabla 8.6, donde se muestra el análisis de los conductores que alimentan a las dependencias monitoreadas. En esta tabla podemos apreciar que en la Academia de San Carlos, donde existen cargas no lineales y se tienen factores de corrección de ampacidad de los conductores<sup>22</sup>, el interruptor que se tiene (3X400 A) no está protegiendo a los conductores (2/0 AWG) y tienen una capacidad de conducción máxima de corriente de 195 A, de acuerdo a la *NOM-001-SEDE-2012 Artículo 240-3(b). Dispositivos de 800 [A] nominales o menos* se permite usar el dispositivo de protección contra sobrecorriente del valor nominal inmediato superior a la capacidad de conducción de corriente de los conductores que proteja. Por lo que se tendría que cambiar el interruptor por uno de menor capacidad o instalar un conductor adicional de la misma capacidad.

<sup>22</sup> La ampacidad se define como la corriente en Amperes que un conductor puede conducir de manera continua bajo condiciones de uso (condiciones del medio circundante en se instalan los cables) sin exceder su temperatura nominal.

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE MONITOREOS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS  
EN DEPENDENCIAS DE LA UNAM, SEGUN SU ACTIVIDAD PREPONDERANTE

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	CONDUCTOR	AMPACIDAD [A]	Factor		AMPACIDAD CORREGIDA [A]	CORRIENTE MAX DEM [A]	¿ADECUADO?
				Temp.	Agrup.			
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	INST. CIENCIAS ATMÓSFERA	2H - 500	760	1.0	0.7	532	144.0	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	1H - 750	475	1.0	0.8	380	272.1	SI
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	1H - 2/0	175	1.0	0.8	140	35.4	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	1H - 3/0	200	1.0	0.8	160	35.9	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	1H - 4/0	230	1.0	0.8	184	37.3	SI
	FAC. QUÍMICA D	4H - 500	1,520	1.0	0.5	760	115.6	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	2H - 300	570	1.0	0.7	399	269.3	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	2H - 500	760	1.0	0.7	532	161.6	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	1H - 2/0	175	1.0	0.8	140	150.7	NO
	MUSEO DE LA LUZ	1H - 4/0	230	1.0	0.8	184	93.3	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	1H - 2/0	175	1.0	0.8	140	103.9	SI

TABLA 7.6 ANÁLISIS DE CONDUCTORES.

Cabe señalar que para las dependencias que no aparecen en dicha tabla, los monitoreos se realizaron en las barras conductoras.

## 7.6 DESBALANCE EN CORRIENTE

En el caso del desbalance de corriente y la distorsión armónica en corriente los límites están determinados por el tamaño relativo del sistema en cuestión contra el sistema del que se alimenta. Se expresa como la relación entre la corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) y la corriente de demanda máxima ( $I_L$ ), a la frecuencia fundamental.

En la tabla siguiente se muestran los valores promedio del Desbalance en Corriente Total (DTC) y el límite obtenido de acuerdo a la especificación *CFE L0000-45 Tabla 7. Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida y la impedancia relativa (IR)* que se mostró anteriormente en la tabla de características de datos generales.

Observando la tabla se puede apreciar que en dependencias dedicadas a actividades recreativas, no cumplen con los valores máximos establecidos en la especificación de CFE. De las cuales el UNIVERSUM Y Facultad de Ciencias (edificio de Física y el de Biología Planta Baja) son quien tiene el mayor desbalance con 41.57%, 41.27% y 38.59% respectivamente.

El desbalance en corriente genera corrientes en el neutro y calentamientos de los conductores deteriorando el aislante de éstos, además que reduce la vida útil los equipos eléctricos (conductores, tableros, reguladores, transformadores) ya que se tiene más “cargada” una fase como se mencionó anteriormente en el análisis de anterior. Además puede propiciar el desbalance en tensión.

DESBALANCE TOTAL EN CORRIENTE [%]				¿CUMPLE CFE L000- 45?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	PROMEDIO	LÍMITE	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	12.79	12	NO
	INST. BIOLOGÍA	10.94	15	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	13.98	12	NO
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	10.80	12	SI
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	38.59	15	NO
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	12.99	15	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	41.27	12	NO
	FAC. QUÍMICA D	9.84	15	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	8.61	12	SI
	RECTORÍA	10.01	12	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	20.86	12	NO
	TORRE II HUMANIDADES	9.03	8	NO
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	20.86	15	NO
	ACAD. DE SAN CARLOS	36.63	12	NO
	MUSEO DE LA LUZ	24.58	15	NO
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	15.88	15	NO

TABLA 7.7 DTC REGISTRADA.

### 7.7 DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTE

Para el caso de la distorsión Armónica en corriente (DATC), la siguiente tabla muestra los valores promedios y los límites de acuerdo a la *Tabla 3.- Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV y a la Impedancia Relativa* mostrada en el capítulo 5.2.

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL PROMEDIO EN CORRIENTE [%]							¿CUMPLE CFE L000-45?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	A	B	C	PROMEDIO	LÍMITE	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	7.59	6.09	6.51	6.73	12	SI
	INST. BIOLOGÍA	9.57	9.83	9.64	9.68	15	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	7.18	8.31	11.30	8.93	12	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	16.20	14.57	15.51	15.43	12	NO
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	12.36	14.86	13.62	13.61	15	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	20.17	28.40	17.60	22.06	15	NO
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	33.66	28.04	25.42	29.04	12	NO
	FAC. QUÍMICA D	17.24	15.44	20.06	17.58	15	NO
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	28.31	33.45	29.36	30.37	12	NO
	RECTORÍA	10.14	9.33	12.40	10.62	12	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	17.96	19.67	16.04	17.89	12	NO
	TORRE II HUMANIDADES	16.73	20.78	20.38	19.30	8	NO
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	7.88	8.37	9.60	8.61	15	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	26.87	30.45	27.52	28.28	12	NO
	MUSEO DE LA LUZ	15.05	15.41	13.37	14.61	15	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	10.73	5.09	9.11	8.31	15	SI

TABLA 7.8 DATC REGISTRADA.

De la cual se obtiene que en las oficinas de Consejos Académicos se tienen la mayor distorsión armónica promedio con un valor de 30.37% esto como consecuencia de la gran cantidad de equipos de cómputo y periféricos, así como balastos electrónicos de luminarias que allí se encuentran, puesto que representan cargas no lineales.

A continuación se presentan los espectros de cada una de las fases:

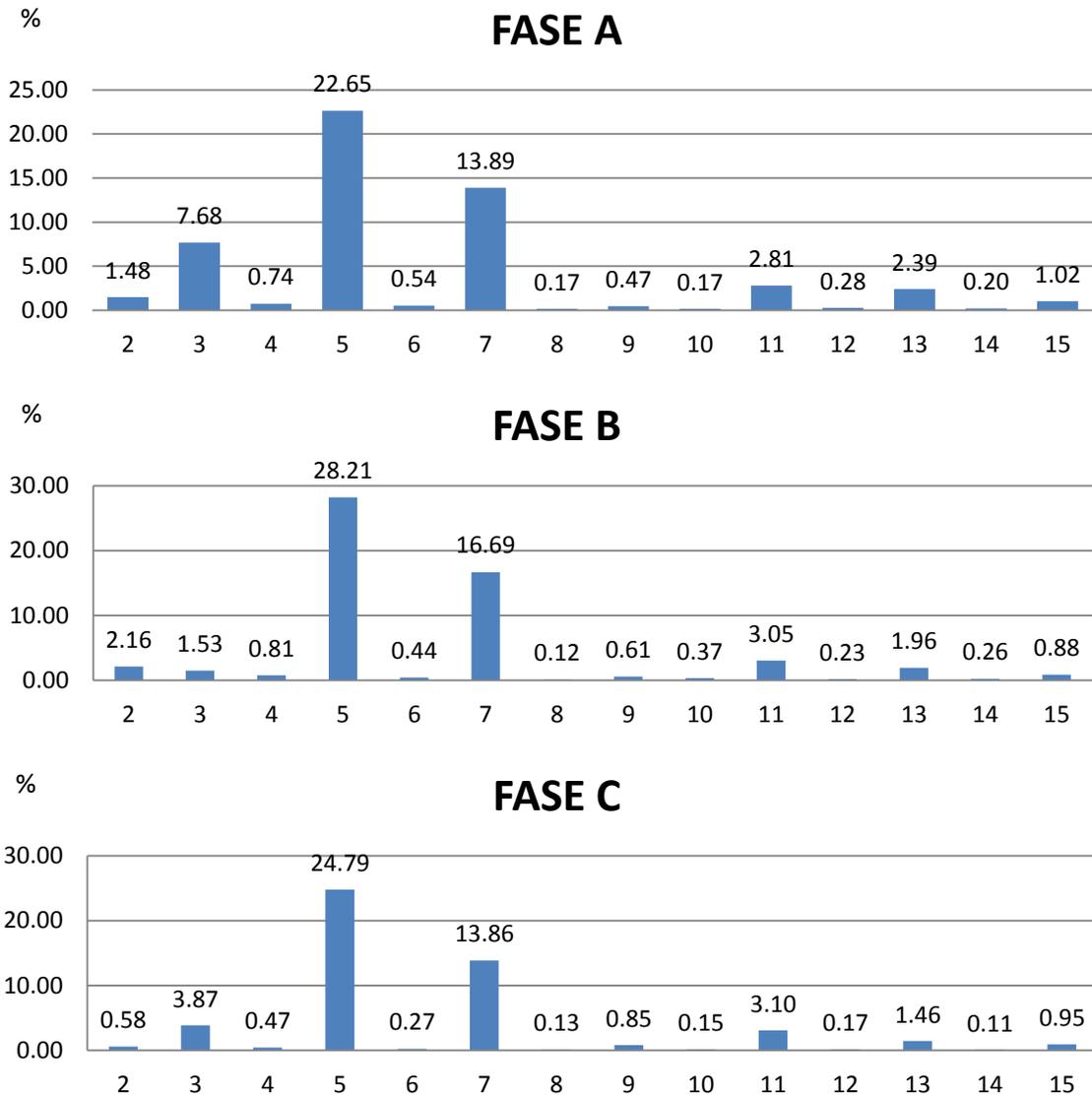


FIGURA 7.2 ESPECTRO ARMÓNICO POR FASE CONSEJOS ACADÉMICOS

De acuerdo a la especificación *CFE L0000-45* la Componente Armónica Individual Máxima de Corriente (CAIMC) para los armónicos menores al onceavo es de 10 %. Como se puede observar en las tres fases, la quinta y séptima armónica muestran un contenido mayor del permitido, estas armónicas son las responsables de la distorsión armónica total que se está presentando en el sistema.

De acuerdo a la especificación *CFE L0000-45 Notas: 1) En el caso de las armónicas pares los límites se reducen al 25 % de los correspondientes a armónicas impares*. De acuerdo a lo anterior las armónicas individuales (pares) se permite un porcentaje de 3 %, observando los histogramas las armónicas pares se encuentra por debajo de los valores permitidos.

La Distorsión Armónica Total en Corriente es la causante de que se presenten corrientes mayores en el neutro, así como que no funcionen adecuadamente y disminuir la vida útil de equipos eléctricos y electrónicos (conductores, motores, transformadores, UPS, reguladores, balastos, etc.) y que las protecciones lleguen a operar sin razón aparente.

## 7.8 FACTOR DE POTENCIA

De acuerdo con el artículo 64 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, donde señala que para los suministros en que intervenga el factor de potencia, el usuario conservará éste en la operación de su instalación entre noventa centésimos atrasados y uno, de acuerdo con las Disposiciones complementarias a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica.

Así mismo éste tenga un valor igual o superior, el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación. Por lo contrario, cuando se tenga un promedio menor a ese valor, el suministrador tendrá derecho a cobrar al usuario la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedios de factor de potencia registrados, donde se nota claramente que, el valor más bajo de FP le corresponde al CCIQS con tan solo 0.84.

FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO							¿CUMPLE CON Art. 64 RLSPE?
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	A	B	C	TOTAL	LÍMITE	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	0.84	0.84	0.84	0.84	0.9	NO
	INST. BIOLOGÍA	0.98	0.97	0.97	0.98	0.9	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	0.98	0.99	0.98	1.00	0.9	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	0.92	0.95	0.91	0.89	0.9	NO
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	0.86	0.93	0.84	0.88	0.9	NO
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	0.97	0.96	0.92	0.98	0.9	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	0.92	0.91	0.92	0.92	0.9	SI
	FAC. QUÍMICA D	0.89	0.97	0.91	0.89	0.9	NO
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	0.93	0.91	0.92	0.92	0.9	SI
	RECTORÍA	0.98	0.97	0.98	0.98	0.9	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	0.94	0.92	0.95	0.92	0.9	SI
	TORRE II HUMANIDADES	0.97	0.97	0.96	0.97	0.9	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	0.98	0.98	0.97	0.98	0.9	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	0.84	0.82	0.94	0.88	0.9	NO
	MUSEO DE LA LUZ	0.97	0.98	0.95	0.97	0.9	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	0.89	0.89	0.85	0.88	0.9	NO

TABLA 7.9 FACTOR DE POTENCIA REGISTRADO

En Tarifa eléctrica HM y OM, CFE, nuestro suministrador de la energía eléctrica, genera un recargo por un bajo factor de potencia, que viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de Recargo} = \frac{3}{5} \times \left( \left( \frac{90}{FP} \right) - 1 \right) \times 100$$

Sustituyendo el valor del factor de potencia que se tiene en la fórmula (29), por lo que tenemos:

$$\text{Porcentaje de Recargo} = \frac{3}{5} \times \left( \left( \frac{90}{84} \right) - 1 \right) \times 100 = 4.28\%$$

En este punto sería importante considerar la instalación de un banco fijo de capacitores. En la corrección del factor de potencia se alcanzan los mayores beneficios cuando la compensación de potencia reactiva se hace individualmente sobre las cargas que generan un bajo factor de potencia, sin

embargo en ocasiones esto puede tener un costo excesivo. El corregir al factor de potencia tiene beneficios técnicos y económicos muy altos, por ejemplo<sup>23</sup>:

- Eliminación de los cargos por bajo factor de potencia.
- Posibilidad de bonificación si el factor de potencia es mayor a 0.90.
- Si se instalan correctamente se pueden tener ahorros económicos del 3 al 6%.
- Menores pérdidas en el sistema por efecto Joule (calentamiento).
- Mejor regulación de tensión.
- Liberación de capacidad en el sistema.

En las gráfica del Anexo A se muestra con mayor detalle las variaciones en el factor de potencia.

## 7.9 FRECUENCIA

En el *Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica Artículo 18*, se establecen las variaciones de frecuencia permitidas por los suministradores de Energía Eléctrica. Siendo de 60 Hz con una tolerancia de más o menos 0.8 %. En la Tabla 8.11 se muestran los valores máximo, mínimo y promedio de la frecuencia de cada una de las dependencias analizadas. De dicha tabla se obtiene al igual que la tensión, que los valores con variaciones más notorias se presentan en las instalaciones cuya actividad predominante es la investigación (Institutos), esto debido a que los equipos de precisión e instrumentación generan este tipo de comportamiento errático.

FRECUENCIA					¿CUMPLE Art 18.1?	
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MAX Δ %	< 0.8%
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	CCIQS	60.07	59.94	60.00	0.12%	SI
	INST. BIOLOGÍA	60.07	59.94	60.00	0.12%	SI
	INST. CIENCIAS NUCLEARES	60.08	59.91	60.00	0.20%	SI
	INST. INV. BIOMÉDICAS A.S.	60.10	59.47	59.99	0.88%	NO
ACADÉMICO	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA N1	60.09	59.93	60.00	0.15%	SI
	FAC. CIENCIAS BIOLOGÍA PB	60.10	59.87	60.00	0.22%	SI
	FAC. CIENCIAS FÍSICA	60.09	59.90	60.00	0.17%	SI
	FAC. QUÍMICA D	60.08	59.93	60.00	0.13%	SI
ADMINISTRATIVO	CONSEJOS ACADÉMICOS	60.06	59.92	60.00	0.13%	SI
	RECTORÍA	60.10	59.93	60.00	0.17%	SI
	TORRE DE INGENIERÍA	60.09	59.86	60.00	0.23%	SI
	TORRE II HUMANIDADES	60.08	59.95	60.01	0.13%	SI
RECREATIVO	A. COL. SAN ILDEFONSO	60.09	59.86	60.00	0.23%	SI
	ACAD. DE SAN CARLOS	60.09	59.92	60.00	0.15%	SI
	MUSEO DE LA LUZ	60.08	59.59	60.00	0.68%	SI
	PALACIO DE LA AUTONOMÍA	60.08	59.91	60.01	0.15%	SI

TABLA 7.10 FRECUENCIAS REGISTRADAS

<sup>23</sup> <http://www.quiminet.com/articulos/como-funciona-un-banco-fijo-de-capacitores-en-baja-tension-2640231.htm>

## 8 CONCLUSIONES

Después de una larga recopilación de información y análisis estadístico de los monitoreos realizados dentro de dependencias de la UNAM y habiendo tomado las consideraciones ya mencionadas en el cuerpo de esta tesis, es posible mostrar en la siguiente tabla, los valores característicos de los principales parámetros de calidad de la energía eléctrica, para cada una de las actividades preponderantes en cuestión, Instrumentación e Investigación, Académicas, Administrativas y Recreativas.

Los cuales están representados mediante su valor promedio y su respectiva incertidumbre, que en nuestro caso de estudio garantiza un nivel de confianza del 68.3%

ACTIVIDAD	TENSIÓN			FRECUENCIA [Hz]	CORRIENTE		FACTOR DE POTENCIA
	VARIACIÓN [%]	DESBALANCE [%]	DISTORSIÓN [%]		DESBALANCE [%]	DISTORSIÓN [%]	
INSTRUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN	2.528 ± 0.885	0.337 ± 0.131	1.205 ± 0.202	59.997 ± 3.10E-03	12.125 ± 1.257	10.192 ± 3.041	0.925 ± 0.061
ACADÉMICO	1.726 ± 0.221	0.217 ± 0.039	1.383 ± 0.350	60.000 ± 1.68E-03	25.674 ± 13.571	20.573 ± 5.425	0.918 ± 0.038
ADMINISTRATIVO	1.876 ± 0.539	0.356 ± 0.229	1.722 ± 0.394	60.002 ± 1.75E-03	12.127 ± 4.796	19.544 ± 6.690	0.946 ± 0.025
RECREATIVO	5.413 ± 2.039	0.992 ± 0.375	2.247 ± 0.617	60.001 ± 1.48E-03	24.486 ± 7.254	14.952 ± 7.663	0.928 ± 0.043

NOTA: Factor de cobertura de 1, que representa un nivel de confianza de un 68.3%

TABLA 8.1 VALORES CARACTERÍSTICOS.

De acuerdo a la muestra seleccionada hemos obtenido que las mayores las variaciones en tensión corresponden a las recreativas; esto debido a que se encuentran en la red eléctrica del centro histórico, que por su antigüedad<sup>24</sup>, presentan grandes variaciones, para más exactos de 5.413±2.039% con respecto a la tensión nominal; en seguida las actividades dedicadas a la Instrumentación e Investigación, debido al tipo de equipos con características especiales que se tienen, instrumentos de laboratorio, que consumen grandes cantidades de corrientes, provocando una caída de tensión considerable en la red eléctrica; las Administrativas con 1.876±0.539% las áreas Académicas fue donde se obtuvo un valor de 1.726±0.221%.

Las dependencias dedicadas a las actividades Recreativas tienen el mayor desbalance en tensión con 0.992 ± 0.375%, en menor medida coinciden las Administrativas y las de Instrumentación e Investigación con un promedio de 0.34% e incertidumbres de 0.229 y 0.131% por último lugar se registran las Académicas con 0.217 ± 0.039. Es importante hacer mención que en ninguno de los casos se exceden los valores límites permitidos.

Un caso particular se presentó en las dependencias ubicadas en el centro histórico, específicamente al área recreativa que presentan una distorsión armónica en tensión elevada, comparada con las demás dependencias; esto puede deberse posiblemente a la zona, ya que la DATC es relativamente normal, como para pensar que es debida a ésta. Es decir que la DATT, se propaga a través de la red eléctrica posiblemente por usuarios vecinos que inyectan grandes cantidades de armónicos de corriente a través de éste.

Se registró que las variaciones en general de frecuencia, no son tan representativas, para las dependencias con actividades estudiadas, salvo la Instrumentación e Investigación, donde se registraron significativas variaciones.

<sup>24</sup> Cabe señalar que cuando se realizaron los monitoreos, aún no se contaba con la nueva red eléctrica.

En la corriente, se descubrió que los mayores desbalances en corriente son por parte de las áreas Académicas y Recreativas con un valor promedio alrededor de 25%, con incertidumbres de 13.571 y 7.254 respectivamente, en este caso se hubiese pensado que en primer lugar fueran dependencias con actividades relacionadas con la Instrumentación e Investigación, por lo anteriormente mencionado debido a las cargas que se alimentan. Sin embargo en nuestro caso de estudio pudo deberse a un mal balanceo de cargas. Se registraron valores de desbalance con promedio alrededor de 12%, con incertidumbres de 4.796 y 1.257 en las áreas Administrativas y de Instrumentación e Investigación.

Se ha encontrado mayores niveles de distorsión armónica total en corriente, con valores alrededor de 20% en dependencias, cuyas cargas principales son las de iluminación y equipo de oficina, es decir dependencias que se dedican a actividades Administrativas y Académicas, debida al balastro en las lámparas de alumbrado, de dispositivos no lineales y electrónicos, éstos últimos con una mayor inyección de armónicos a la red eléctrica, como por ejemplo los rectificadores, que utilizan los equipos de cómputo, impresoras, etc. Estos valores están comprendidos dentro de un rango de 15 a 26, con un promedio de 20%.

En dependencias con actividades recreativas que generalmente tienen cargas en iluminación con valores alrededor de 15%, con una incertidumbre de 7.6%, es decir que se encuentran comprendidas dentro de un rango de 7.3 a 22.6%, por último encontramos a las dependencias con actividades en Instrumentación e Investigación, los cuales tienen una gran cantidad de cargas variadas, resistivas, no lineales, capacitivas e inductivas, las cuales, se caracterizaron por tener una distorsión de 10.192% con una incertidumbre de 3.041%.

En cuanto al factor de potencia se encontró que la mayoría de las dependencias cuentan con un valor favorable de factor de potencia, superior al límite de 0.9 establecido por el suministrador de energía, sin embargo, existieron dependencias como es el caso del CCIQS donde el valor está en 0.84. Esta situación representa un problema a largo plazo ya que la carga inductiva podría aumentar y generar que este valor disminuya aún más provocando recargos o multas.

Una analogía es por ejemplo, una persona dependiendo del tipo de vida que lleve, a la actividad a la que se dedique, raza o género tiende a desarrollar ciertas enfermedades características, que junto con los síntomas que presente, los lleve a realizar los análisis necesarios para determinar su enfermedad. Así nosotros, al caracterizar los valores típicos de los parámetros eléctricos, según su actividad preponderante, permitirá brindar a groso modo soluciones típicas prácticas a estos problemas, así mismo serán de mucha utilidad para los futuros análisis de calidad de la energía que se lleven a cabo, que mediante un análisis más a fondo, estudios, darle un mejor tratamiento/solución.

Al final de este trabajo se logró caracterizar los parámetros de la energía eléctrica, para las diferentes actividades preponderantes, sin embargo, se hizo muy notorio el peso de alguna de las muestras sobre las demás, ya que aumentaba o disminuía drásticamente su promedio y con ello el aumento de su incertidumbre. Por lo que los valores obtenidos, no son del todo certeros como se hubiese esperado.

Las grandes variaciones en los valores obtenidos se debieron principalmente a las siguientes razones:

- ✓ Al limitado tamaño de nuestras. Ya que con un número mayor de muestras, tendríamos la posibilidad de descartar a aquellas que nos den un ruido significativo.
- ✓ Al comparar diferentes “tamaños” de sistemas. En el mejor de los casos tendríamos que estar comparando dependencias con impedancias relativas similares, para obtener resultados similares entre ellos.

- ✓ Equipos instalados. A pesar de que son dependencias con equipos similares, no tenemos la certeza al 100% de que únicamente existen cargas del mismo tipo. Por lo que sería necesario hacer previamente un estudio de carga.
- ✓ Así como que el tiempo transcurrido entre la primera muestra y la última es relativamente grande, lo que conlleva a que muy probablemente haya habido cambios en cuanto a tipo de tecnología de luminarias.
- ✓ Debido a que generalmente se monitorearon a dependencias con un cierto tipo de problema, como por ejemplo: disparo de interruptores sin causa aparente, apagones, avería de equipos, etc.
- ✓ Elección correcta del analizador de redes, para una mejor captura de la información, ya que la información disponible en la base de datos, no venía tan detallada como se hubiese querido.

Por lo que para futuros estudios de este tipo, es posible mejorar los resultados obtenidos atendiendo las consideraciones, anteriormente mencionadas.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

---

- Baggini, A. (1998). *Hang of Power Quality*. Italy: John Wiley & Sons.
- Barcón, S. E. (2012). *Calidad de la Energía, Factor de Potencia y Filtrado de Armónicas*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Barcón, S., Gerrero, R., & Martinez, I. (2012). *Calidad de la Energía, Factor de Potencia y filtrado de Armónicas*. Mexico, DF: Mc Graw Hill.
- CFE-L0000-45, E. (s.f.). *Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Siministro y Consumo de Energía Eléctrica*. México.
- Chapman, D. (2001). *Armónicos, Causas y Efectos*. UK: Cooper Development Association.
- Chapman, D. (2001). *Guía de Calidad de la Energía Eléctrica*. UK: European Cooper Institute, Cooper Development Association.
- Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8. (Agosto de 2012). *Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8*. Recuperado el Diciembre de 2015, de <file:///C:/Users/reneq/Searches/Downloads/abb%20factor%20de%20potencia.pdf>
- Delgado, H. E. (2005). *Estimación de la Incertidumbre en Metodos de Ensayos de Construcción*. Sanfandilla , Qro.: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Ecamec Tecnología*. (Septiembre de 2009). Recuperado el Agosto de 2014, de <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/notaa0909.html>
- Guía de diseño de instalaciones eléctricas 08 Schneider Electric. (abril de 2013). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas 08*. Recuperado el diciembre de 2014, de Capítulo L: <http://es.slideshare.net/IvanRocanlover281107/guia-disenoinstalacioneselectricas2008>
- Harper, G. E. (1999). *Eléctrica, El ABC de la Calidad de la Energía*. Limusa.
- IEEE-1159. (1995). *Guía práctica para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica*.
- IEEE-519. (1992). *Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia*.
- NOM-001-SEDE-2012. (2011). *Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas (Utilización)*. México.
- Norma Oficial Universitaria. (1998). *Norma Oficial Universitaria Instalaciones Electromecánicas emitida por la Dirección General de Obras y Conversación de la UNAM*. México.

Ramírez, I. E. (2013). *Distorsión Armónica*. Recuperado el Julio de 2015, de <http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>

*Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica*. (2011). México.

Std.1159-1995, I. (1995). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE)*. Estados Unidos.

Std.519-1992, I. (1993). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Estados Unidos.

Torres, D. (Abril de 2010). *Concepto de Corriente Alterna*. Obtenido de <https://ddtorres.webs.ull.es/Docencia/Instalaciones/Electrifica/Tema%202.htm>

Wolfgang A. Schmid, L. M. (2004). *Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición*. Rev. 1. El Marqués, Qro.: Centro Nacional de Meteorología.

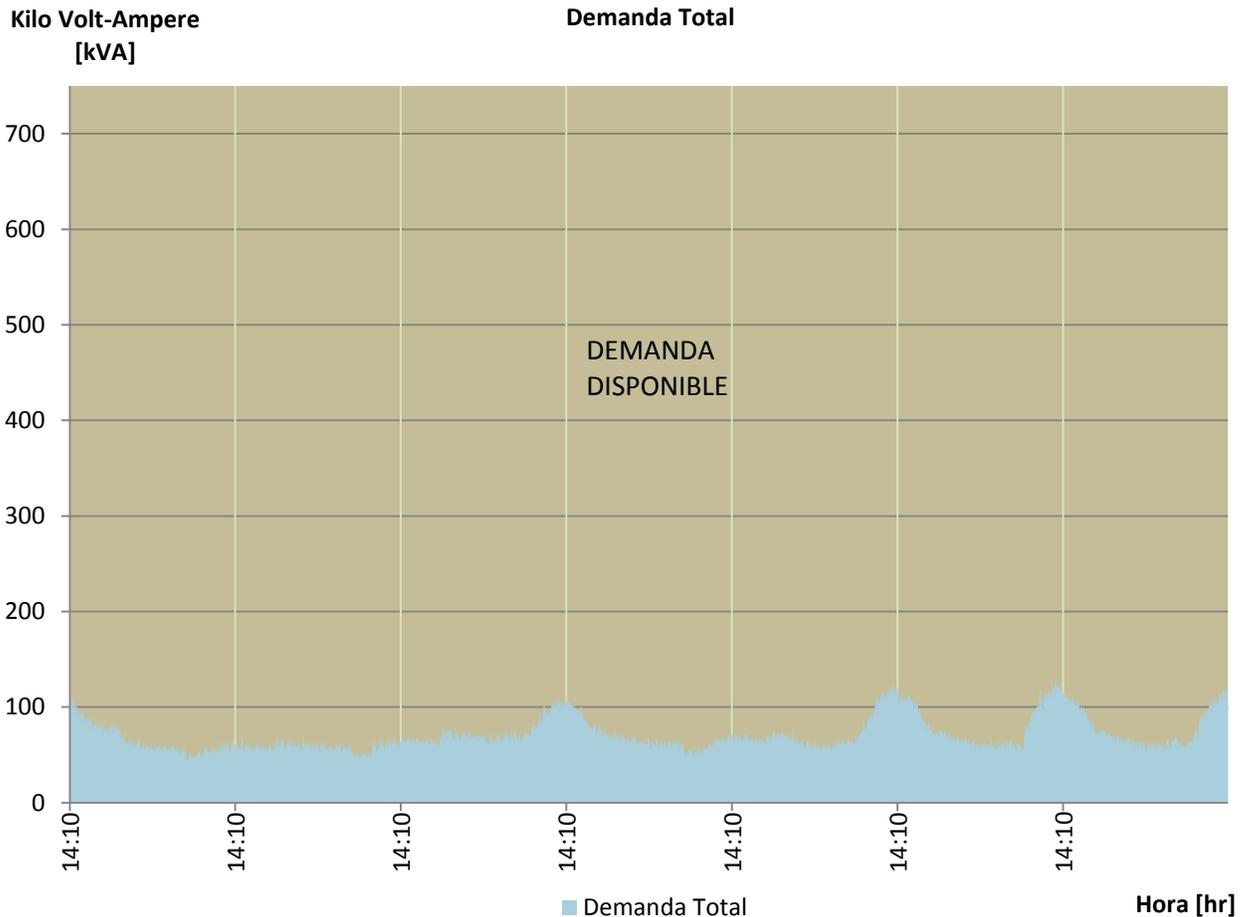
# ANEXOS

## 10 ANEXO A. GRÁFICAS

### DEMANDA

La siguiente gráfica muestra el comportamiento de la demanda típica del Instituto de Biología a lo largo de una semana, el monitoreo comienza un viernes, se observa cómo va decayendo, en el fin de semana se ve claramente una demanda continua alrededor de los 60 kVA, en los siguientes días se observan las demandas picos aproximadamente de 100 kVA. Ésta dependencia fue una de las cuales presentó una demanda mínima comparada con el tamaño del transformador, lo que indica que el transformador está sobredimensionado.

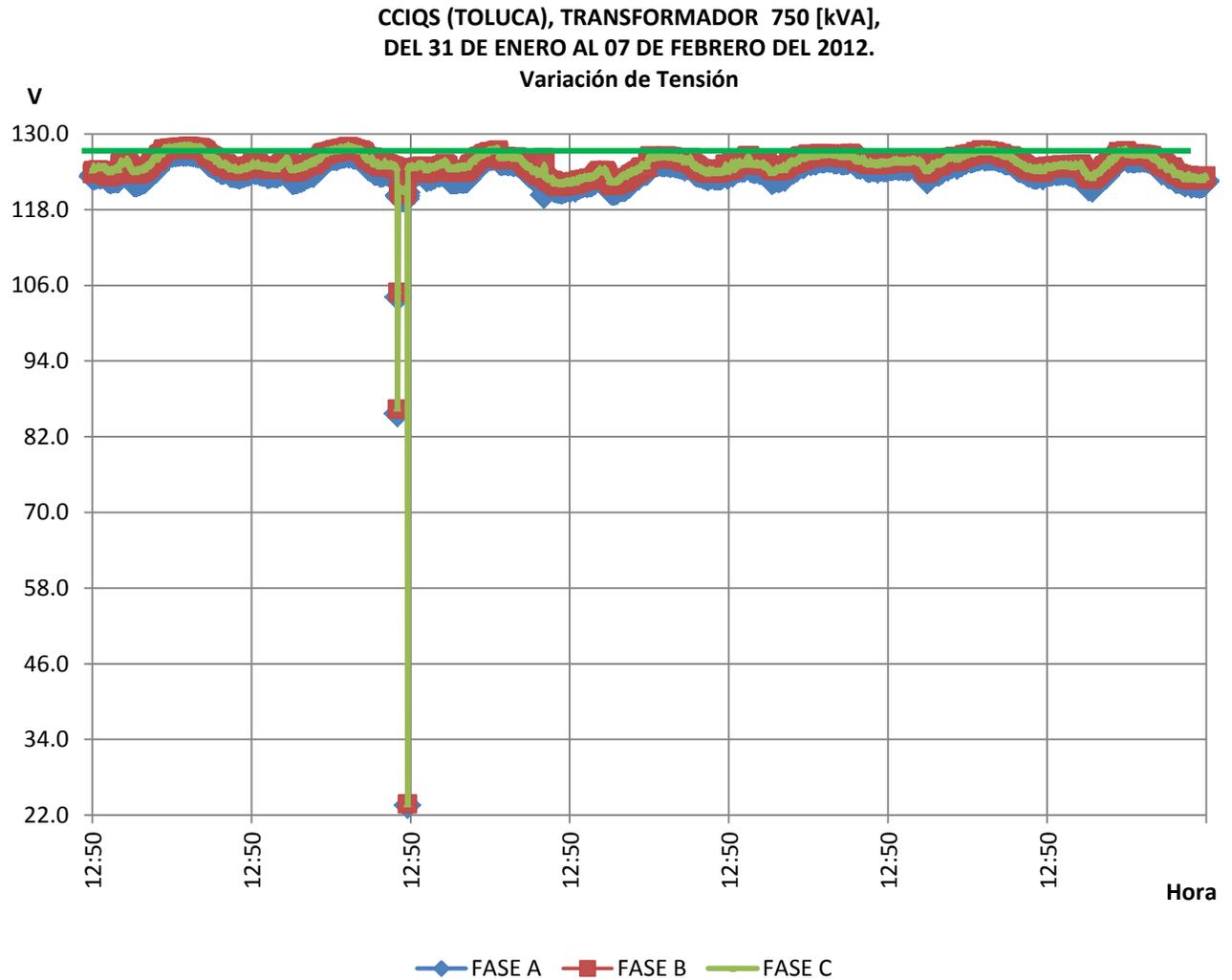
#### INSTITUTO DE BIOLOGIA (EDIFICIOS C Y D), TRANSFORMADOR 750 [kVA], DEL 27 DE ABRIL AL 4 DE MAYO DEL 2012.



GRÁFICA 10.1 DEMANDA, INSTITUTO DE BIOLOGÍA.

## VARIACIONES DE TENSIÓN

En la gráfica siguiente se muestra la variación de tensión a lo largo del monitoreo, en donde es posible observar algunas anomalías de tensión las cuales son mostradas a continuación.



GRÁFICA 10.2 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN CCIQS.

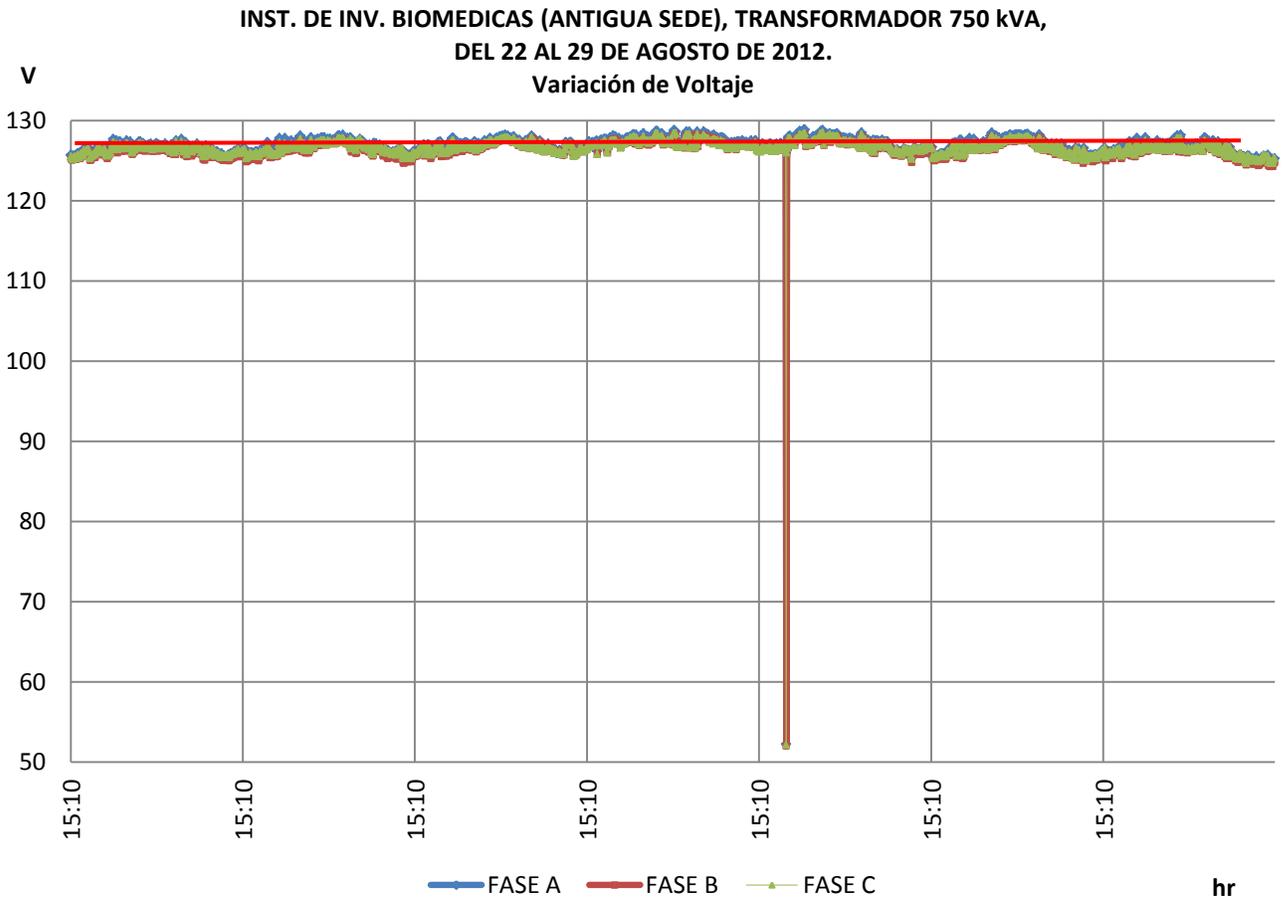
Las anomalías presentadas en el suministro de tensión son las siguientes:

- Dentro de las variaciones de larga duración, se destacan dos interrupciones sostenidas de energía, estas se presentan en cada una de las fases.
- 2 Transitorios, en la fase A,
- 25 sags de corta duración que corresponden a las llamadas instantáneas.

ANOMALIAS DE TENSIÓN				
Fecha y Hora	Fase	Valor [V]	Duración [seg]	Tipo de perturbación
02/02/2012 10:53:18 a.m..48	3	0.09	151.28	SOSTENIDA
02/02/2012 10:53:18 a.m..48	2	0.09	151.3	SOSTENIDA
02/02/2012 10:53:18 a.m..48	1	0.1	151.32	SOSTENIDA
02/02/2012 10:55:49 a.m..78	3	107.61	0.03	INSTANTÁNEA
02/02/2012 10:55:49 a.m..80	2	105.74	0.02	INSTANTÁNEA
02/02/2012 10:55:49 a.m..82	1	105.83	0.34	INSTANTÁNEA
02/02/2012 10:55:49 a.m..84	3	110.86	0.09	INSTANTÁNEA
02/02/2012 10:55:49 a.m..86	2	113.05	0.17	INSTANTÁNEA
02/02/2012 12:20:23 p.m..30	1	0.09	250.08	SOSTENIDA
02/02/2012 12:20:23 p.m..30	3	0.09	250.1	SOSTENIDA
02/02/2012 12:20:23 p.m..30	2	0.09	250.12	SOSTENIDA
02/02/2012 12:24:33 p.m..42	1	112.25	0	TRANSITÓRIA
02/02/2012 12:24:33 p.m..42	3	112.56	0.02	INSTANTÁNEA
02/02/2012 12:24:33 p.m..45	2	110.95	0.02	INSTANTÁNEA
02/02/2012 12:24:33 p.m..47	1	113.53	0	TRANSITÓRIA
03/02/2012 09:09:05 a.m..81	2	99.96	0.04	INSTANTÁNEA
03/02/2012 09:09:05 a.m..81	3	99.93	0.04	INSTANTÁNEA
03/02/2012 09:10:34 a.m..55	1	112.38	0.06	INSTANTÁNEA
03/02/2012 08:27:58 p.m..88	2	104.83	0.02	INSTANTÁNEA
03/02/2012 08:27:58 p.m..88	3	103.73	0.03	INSTANTÁNEA
04/02/2012 05:48:35 p.m..96	1	97.5	0.02	INSTANTÁNEA
04/02/2012 05:48:35 p.m..96	2	99.24	0.02	INSTANTÁNEA
05/02/2012 02:39:09 p.m..85	2	100.9	0.02	INSTANTÁNEA
05/02/2012 02:39:09 p.m..85	1	69.05	0.04	INSTANTÁNEA
06/02/2012 06:01:51 p.m..57	1	101.39	0.02	INSTANTÁNEA
06/02/2012 06:01:51 p.m..58	2	113.62	0.02	INSTANTÁNEA
07/02/2012 10:51:26 a.m..92	2	101.64	0.07	INSTANTÁNEA
07/02/2012 10:51:26 a.m..97	1	114.11	0.02	INSTANTÁNEA
07/02/2012 12:29:46 p.m..38	3	105.59	0.02	INSTANTÁNEA
07/02/2012 12:29:46 p.m..38	1	99.87	0.03	INSTANTÁNEA
07/02/2012 12:51:55 p.m..10	1	99.56	0.03	INSTANTÁNEA
07/02/2012 12:51:55 p.m..10	3	107.47	0.03	INSTANTÁNEA
07/02/2012 12:51:55 p.m..10	2	95.81	0.06	INSTANTÁNEA

TABLA 10.1 ANOMALÍAS DE TENSIÓN, CCIQS.

Otra dependencia que registró grandes variaciones de tensión fue la que se muestra a continuación.



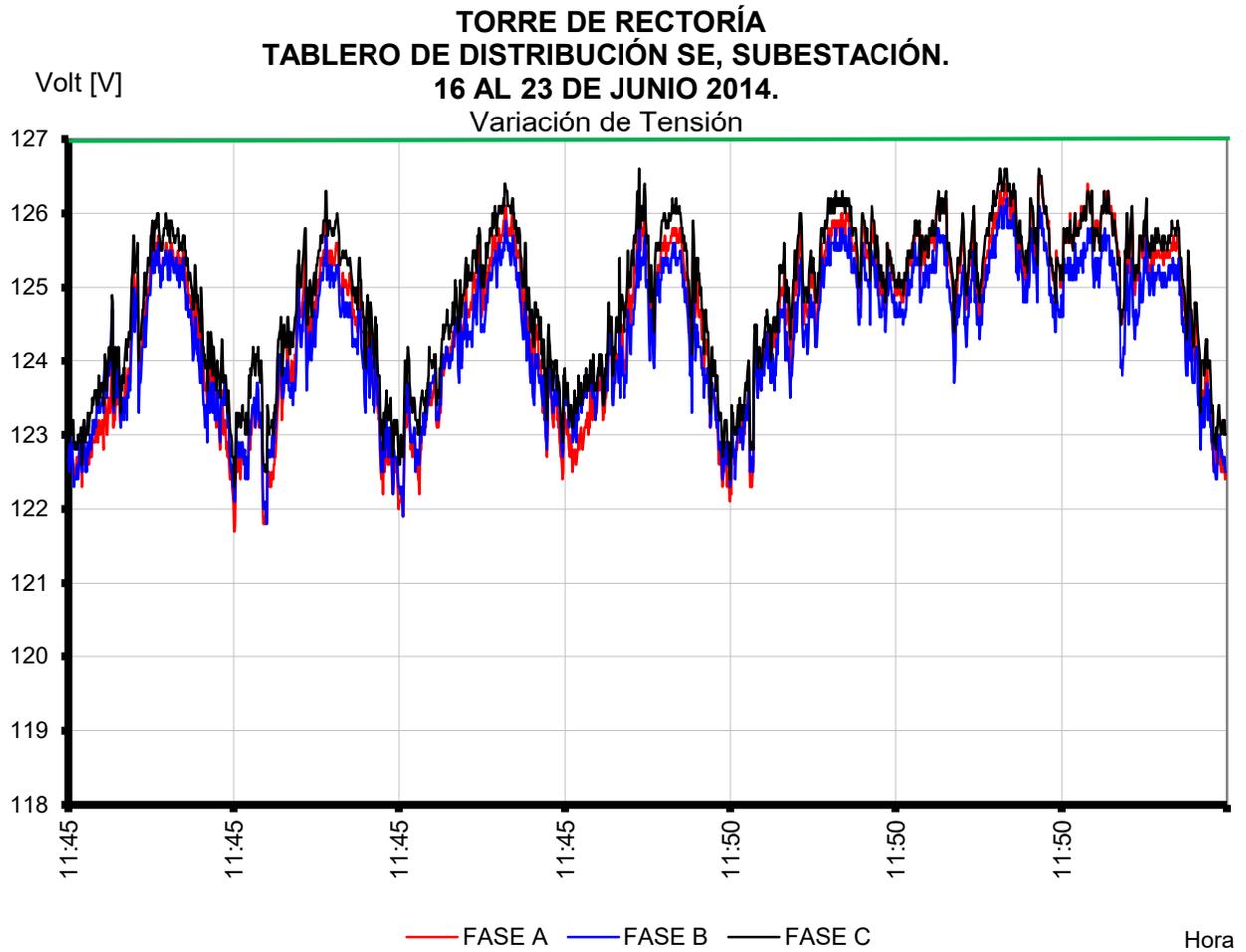
GRÁFICA 10.3 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN IIB.

En la siguiente tabla enlistamos las anomalías presentadas en el suministro de tensión las cuales, se presentan:

- 2 Transitorios, en las fase A y C,
- 15 sags de corta duración que corresponden a las llamadas instantáneas.
- una variación de larga duración, denominada interrupción sostenidas de energía, manifestada en cada una de las fases.

ANOMALIAS DE TENSIÓN				
Fecha y Hora	Fase	Valor [V]	Duración [seg]	Tipo de perturbación
24/08/2012 08:02:03 p.m..00	2	108.58	0.04	INSTANTÁNEA
24/08/2012 08:02:03 p.m..96	2	114.15	0.04	INSTANTÁNEA
26/08/2012 06:50:47 p.m..43	3	96.5	0.02	INSTANTÁNEA
26/08/2012 06:50:47 p.m..44	2	107.7	0.01	INSTANTÁNEA
26/08/2012 06:57:03 p.m..46	1	0.08	179.1	SOSTENIDA
26/08/2012 06:57:03 p.m..46	2	0.08	179.13	SOSTENIDA
26/08/2012 06:57:03 p.m..50	3	0.11	179.05	SOSTENIDA
26/08/2012 07:00:02 p.m..57	3	112.56	0	TRANSITÓRIA
26/08/2012 07:00:02 p.m..59	1	108.21	0.02	INSTANTÁNEA
26/08/2012 07:00:02 p.m..63	2	111.8	0.02	INSTANTÁNEA
26/08/2012 07:00:02 p.m..65	1	113.23	0	TRANSITÓRIA
27/08/2012 11:42:27 a.m..44	2	96.32	0.06	INSTANTÁNEA
27/08/2012 11:42:27 a.m..44	3	83.8	0.06	INSTANTÁNEA
27/08/2012 12:18:03 p.m..91	2	96.58	0.06	INSTANTÁNEA
27/08/2012 12:18:03 p.m..91	3	84.2	0.06	INSTANTÁNEA
27/08/2012 12:18:58 p.m..94	3	83.24	0.07	INSTANTÁNEA
27/08/2012 12:18:58 p.m..96	2	98.06	0.05	INSTANTÁNEA
28/08/2012 11:59:35 a.m..18	2	83.4	0.07	INSTANTÁNEA
28/08/2012 11:59:35 a.m..18	3	70.93	0.08	INSTANTÁNEA
28/08/2012 11:59:35 a.m..20	1	111.4	0.06	INSTANTÁNEA

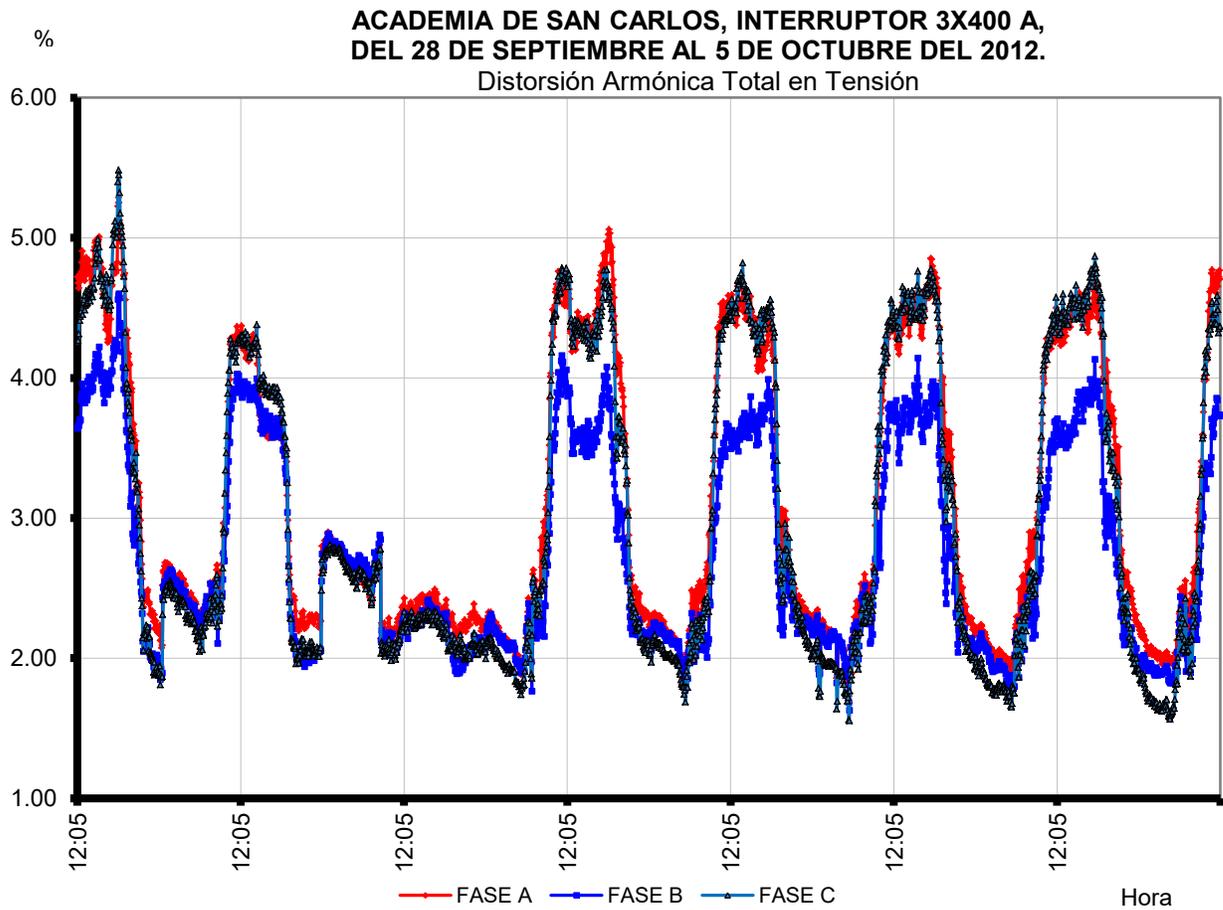
En la siguiente gráfica es notoria como la tensión sufre caídas de tensión por el día, debida al aumento progresivo de las cargas. Se observa que los valores registrados están por debajo del nominal que es de 127 V.



GRÁFICA 10.4 COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN, RECTORIA.

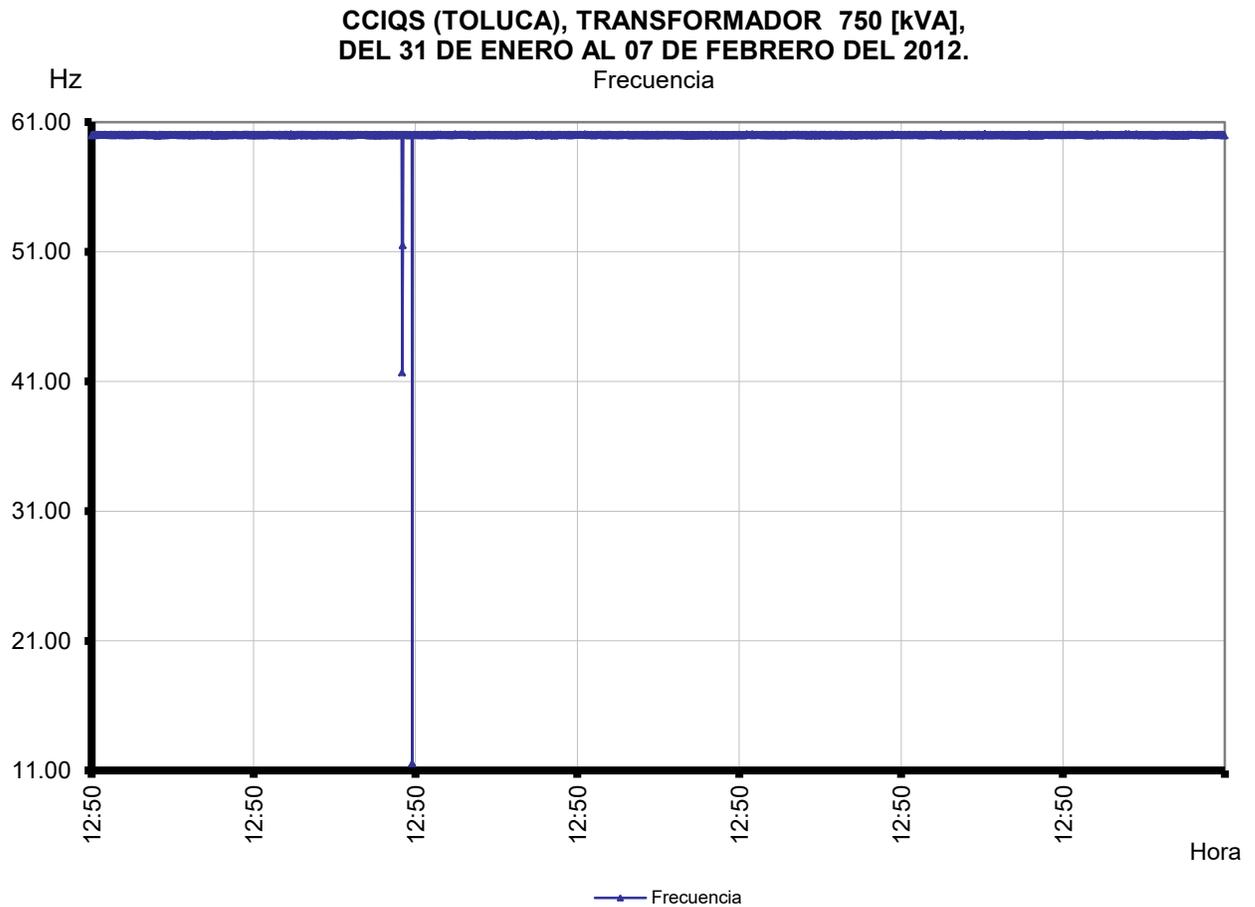
### DISTORSION ARMONICA EN TENSION

En la siguiente gráfica se muestra la DATT, la cual para este caso es proporcional a la demanda, se observa claramente cómo aumenta con forme avanza el día y cae al llegar la noche en el sábado es un poco menor y el domingo se mantiene a la misma distorsión que se presentan en las noches.



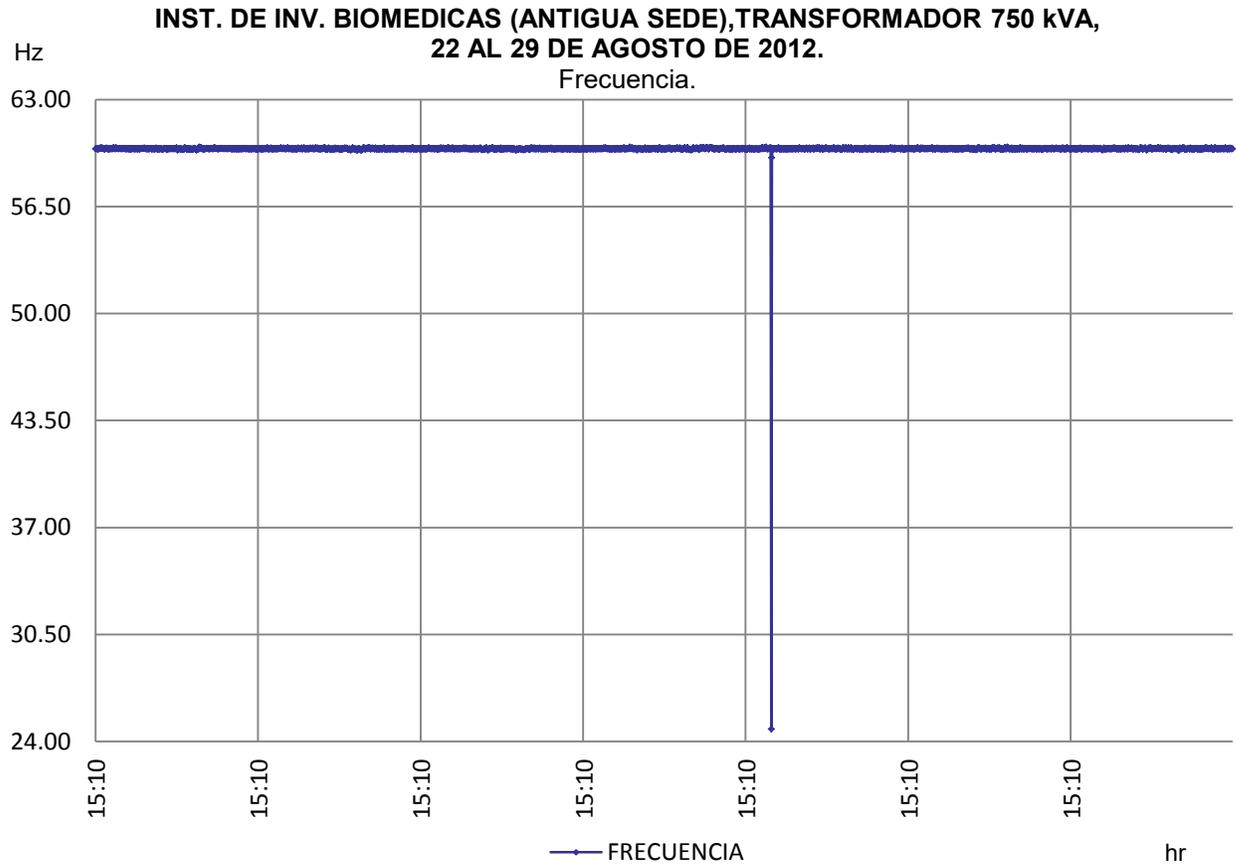
## FRECUENCIA

En la siguiente gráfica se muestra una caída en la frecuencia que fue producida por una anomalía en la tensión, que se muestra en la grafica 10.2 y en la tabla 10.1 de este mismo anexo.



GRÁFICA 10.6 COMPORTAMIENTO DE LA FRECUENCIA EN CCIQS

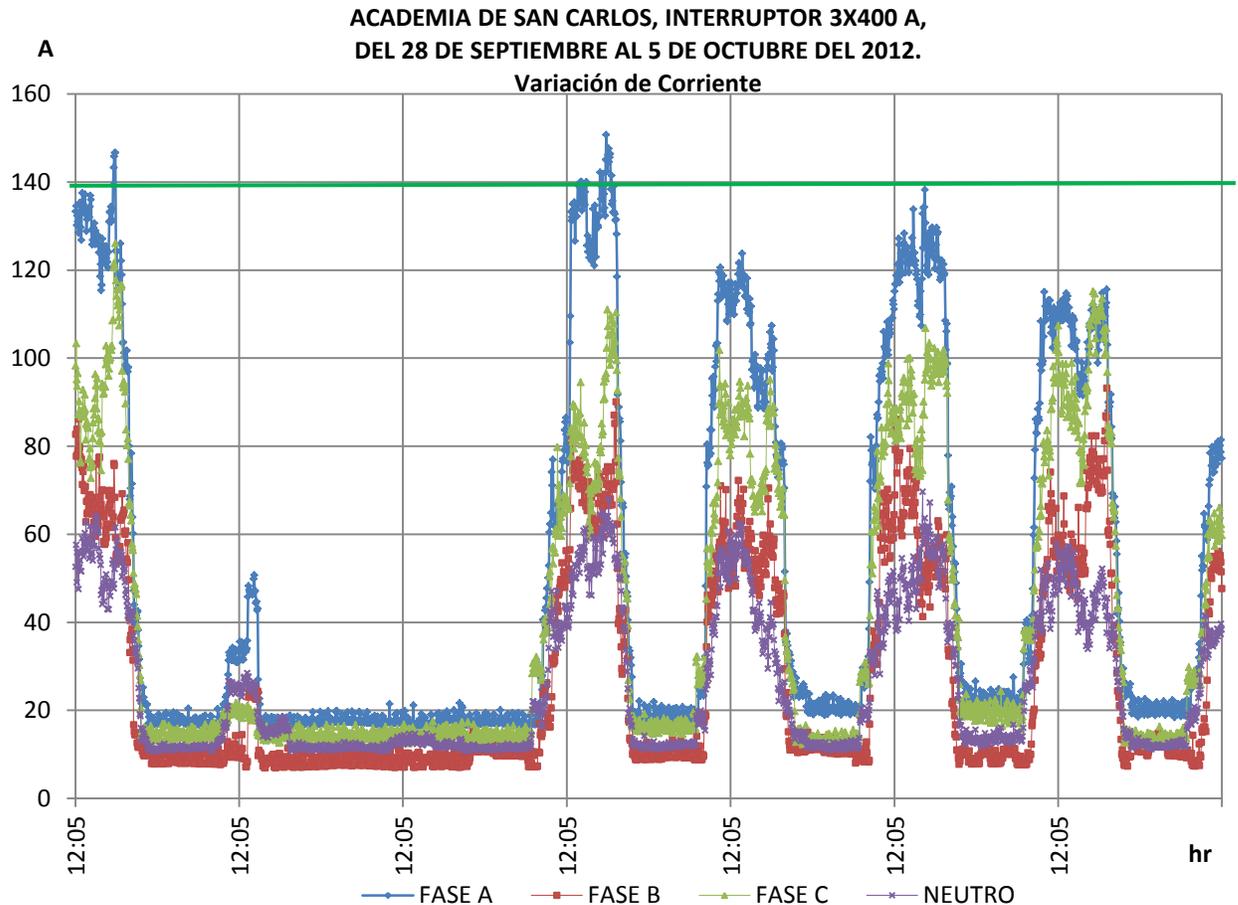
La caída en frecuencia fue ocasionada por el mismo motivo que se presentó la caída de tensión, que son ajenas a las instalaciones propias de la dependencia, y que son debidas a la red del sistema eléctrico de donde son alimentados.



GRÁFICA 10.7 COMPORTAMIENTO DE FRECUENCIA EN INSTITUTO DE INV. BIOMEDICAS

## VARIACIONES DE CORRIENTE

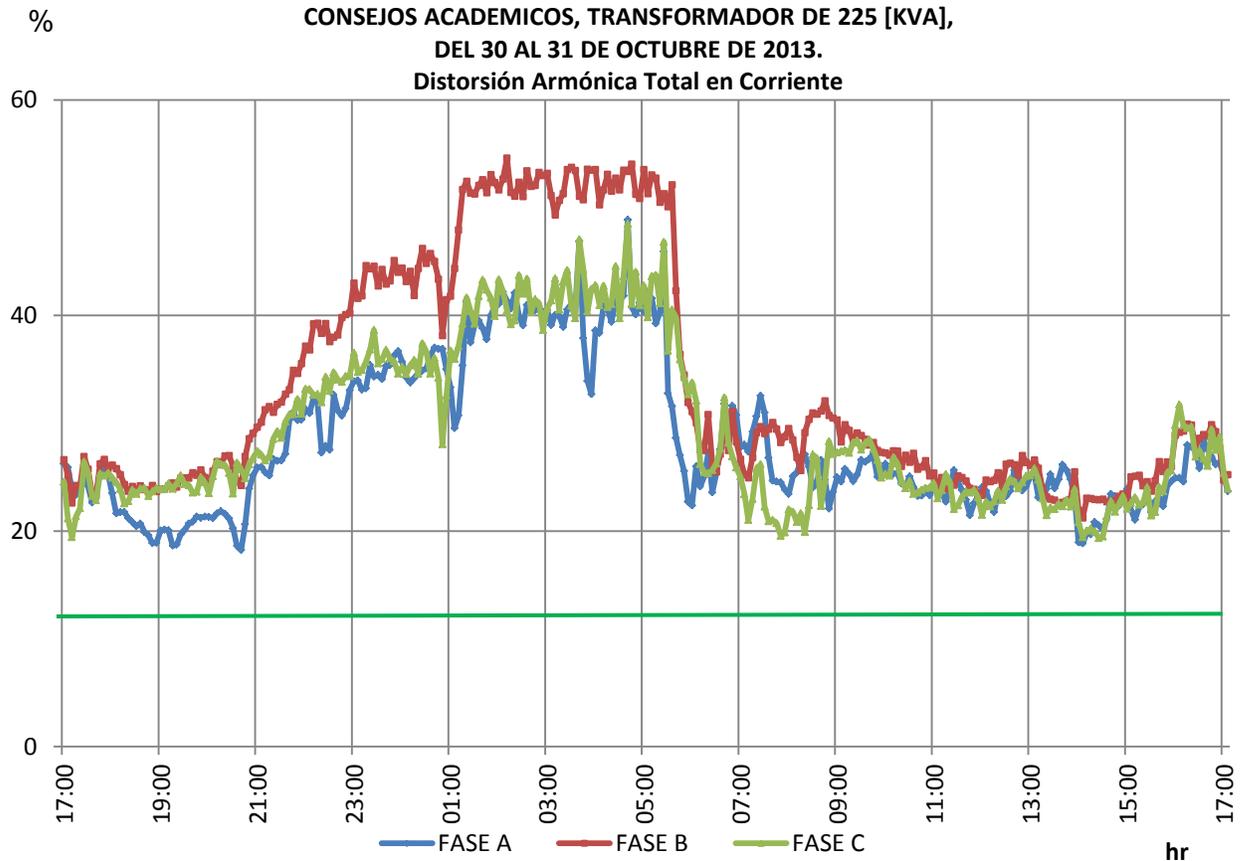
El perfil de corriente para la Academia de San Carlos, donde se nota que en ciertos momentos esta corriente sobrepasa los 140 A, que son los que el conductor que alimenta a dicha dependencia, por lo que es necesario poner atención en este detalle, con el fin de no tener problemas futuros. Así mismo es notoria una gran circulación de corriente en el conductor neutro, que se deben a los armónicos de secuencia cero.



GRÁFICA 10.8 COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN LA ACAD. SAN CARLOS

## DISTORSION ARMONICA EN CORRIENTE

La siguiente gráfica muestra el comportamiento de la DATC donde se observa que durante la noche estos valores aumentan considerablemente comparado con los niveles en la mañana, lo que nos indica que por las noches el equipo que se queda conectado inyecta grandes niveles de distorsión, sin embargo, como los valores de corriente presentados son bajos, estos niveles no llegan a provocar grandes daños.

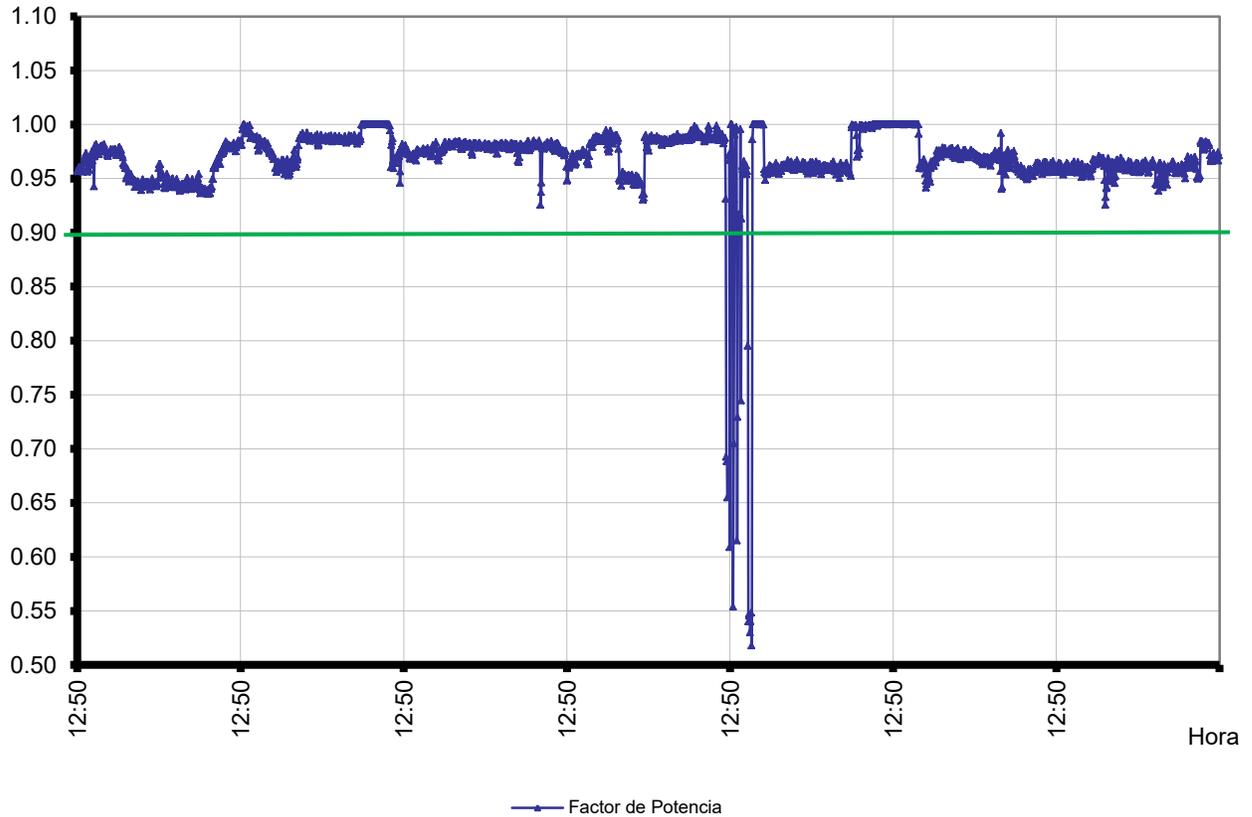


GRÁFICA 10.9 GRAFICA DE DISTORSION ARMONICA TOTAL EN CONSEJOS ACADEMICOS

## FACTOR DE POTENCIA

En la siguiente gráfica se muestra el perfil de factor de potencia en donde se tiene un promedio de 0.89 durante el tiempo de medición, en donde en cierto momentose observa que baja hasta valores cercanos a 0.5, lo cual se debe a un aumento en la potencia reactiva ocasionada por la conexión de cierto equipo que demanda grandes cantidades de este tipo de potencia.

**CCIQS (TOLUCA), TRANSFORMADOR 750 [kVA],  
DEL 31 DE ENERO AL 07 DE FEBRERO DEL 2012.**  
Factor de Potencia



Factor de Potencia  
GRÁFICA 10.10 FACTOR DE POTENCIA, CCIQS.

## 11 ANEXO B. CALCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

---

Cuando hablamos de caracterización de los parámetros eléctricos de las dependencias, nos referimos a determinar aquellos atributos que se presentan dichas dependencias, las cuales se hacen diferencias de las demás actividades preponderantes a las que se dedican.

Para caracterizar la calidad de la energía por cada tipo de actividad, sería necesario hacer las mediciones en cada una de las dependencias de CU, sin embargo con fines de practicidad en esta tesis se toma tan solo una muestra. Los resultados serán mostrados junto con su incertidumbre por medio de un análisis estadístico de las mediciones que se hicieron para cada tipo de actividad preponderante, mediante:

$$y \pm U \quad (34)$$

Dónde:

$y$  Es el valor característico del parámetro de calidad de la energía.

$U$  Es la incertidumbre expandida.

Para obtener el valor de la incertidumbre expandida de un sistema de medición, es necesario conocer de forma precisa el valor de incertidumbre de cada uno de los elementos involucrados, por lo general pueden utilizarse datos proporcionados por el fabricante e incluso distribuciones supuestas a priori (evaluación tipo B) o pueden realizarse estimaciones analíticas utilizando ecuaciones de probabilidad y estadística (evaluación tipo A).

**Método para calcular la incertidumbre a cada uno de los parámetros de calidad de la energía (incertidumbre tipo A) para las diferentes actividades.** (Wolfgang A. Schmid, 2004)

Primeramente se obtendrán los promedios de cada parámetro de calidad mediante:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{n} \quad (35)$$

Donde  $x_i$  representa cada uno de los parámetros de calidad de la energía analizados.

$q_j$  Son los resultados del parámetro en cada una de las dependencias de la muestra.

$n$  Es el número de muestras, es decir el número de dependencias por cada actividad preponderante.

Para caracterizar la variabilidad de los datos  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , es decir la dispersión alrededor de la media  $\bar{q}$ , para cada parámetro se expresa por su desviación estándar experimental:

$$\sigma = s(q) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n - 1}} \quad (36)$$

La incertidumbre estándar  $u(x)$  se obtiene mediante la estimación de la desviación estándar experimental de la media, la obtenemos por medio de:

$$u(x) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (37)$$

Con la cual cuantificamos que tan bien  $\bar{q}$  estima el valor esperado de  $q$  y se puede utilizar como una media de la incertidumbre de  $\bar{q}$ .

La fórmula anterior aplica para muestras mayores que 30, es decir los grados de libertad de  $\sigma$  se pueden estimar como infinitos, sin embargo, en nuestro caso como tenemos  $n < 30$ , entonces hacemos uso de la distribución de T – Student. Con un nivel de confianza del 80%.

$$u(x)_A = s(\bar{q}) * t_{v;80\%} \quad (38)$$

Los grados de libertad  $v$  de la variable aleatoria continua, se determinan a partir de  $n$  mediciones independientes según la siguiente ecuación:

$$v = n - 1 \quad (39)$$

$$v = 4 - 1 = 3$$

De tablas obtenemos el valor de  $t_{3;80\%} = 1.64$

Por lo que finalmente la incertidumbre nos queda de la siguiente manera:

$$u(x)_A = s(\bar{q}) * 1.64 \quad (40)$$

**Para el cálculo de la incertidumbre del equipo de medición (Tipo B).** (Wolfgang A. Schmid, 2004)

Esta evaluación se basa en criterios del que realiza la medición, tomando en cuenta su experiencia, los datos del fabricante, los certificados de calibración, las mediciones previas, los datos manuales, artículos o especificaciones. Esta estimación se trata igual que la de tipo A. como una desviación normal.

$$\sigma = u(x) \quad (41)$$

Generalmente, el valor que se toma para evaluar una incertidumbre individual por el método tipo B, se considera que está expandida. Por tanto, es necesario dividirla entre el coeficiente,  $k$ , para llevarla a  $\pm 1\sigma$ .

$$u(x) = \frac{u}{k} = \sigma \quad (42)$$

Si expresado con un nivel de confianza  $p$  entonces, suponiendo una distribución normal de la variable. Ésta se calcula como la incertidumbre indicada dividida entre el factor,  $Z$ , (que puede considerarse como equivalente al factor de expansión,  $k$ , correspondiente al factor indicado para una distribución normal.

$$u(x) = \frac{u}{Z} \quad (43)$$

Considerando que la incertidumbre del equipo es de 0.01 y un nivel de confianza del 95%, tenemos que

$$P(-c < Z < c) = 0.95$$

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

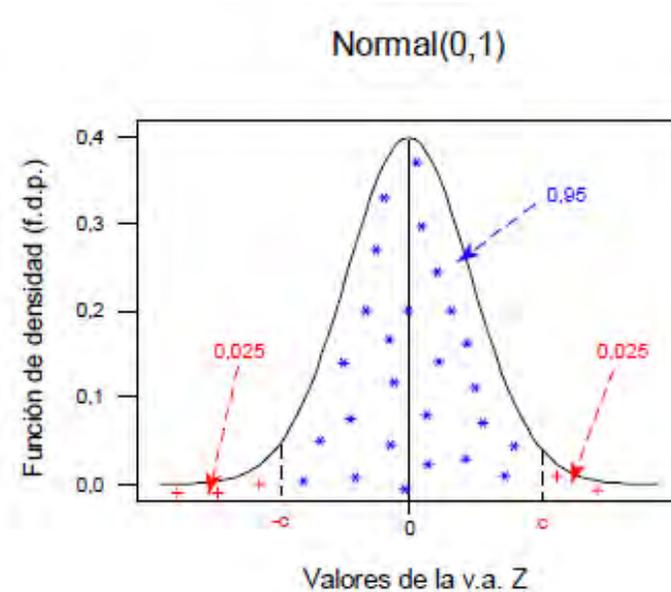
$$c = \frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$Z \frac{\alpha}{2} = Z(0.025)$$

$$P(Z \leq Z(0.025)) = 0.975(1 - \frac{\alpha}{2})$$

$$Z(0.975) = 1.96$$

$$u(x)_B = \frac{0.01}{1.96} = 0.005$$



GRÁFICA 11.1 FUNCIÓN DE DENSIDAD NORMAL.

**Para el cálculo de la incertidumbre combinada**

$$u_c(y) = \sqrt{u(x)_A^2 + u(x)_B^2} \quad (44)$$

**Calculo de la incertidumbre expandida** (Wolfgang A. Schmid, 2004)

La obtenemos multiplicando la incertidumbre combinada, por un factor de cobertura  $k$ , que es elegido según el nivel de confianza que requerimos para un intervalo  $[y - U, y + U]$  en torno al resultado de la medida.

$$U(y) = k * u_c(y) \quad (45)$$

Suponiendo que se trata de una distribución normal, para los resultados de la estimación de  $y$ , de manera que para un nivel de confianza del 68.3%, tomamos  $k = 1$ .

Por lo que finalmente mostramos nuestros Resultados como:

$$Y = y \pm U \quad (46)$$

Indicando las unidades de  $y$  y de  $U$ , lo que se interpreta como que la mejor estimación del valor atribuible al mensurando  $Y$ , y que se espera que el intervalo va de  $y - U$  a  $y + U$ . Así mismo es necesario indicar el valor de  $k$  y el nivel de confianza.

## 12 ANEXO C. FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD

---

Con los datos de cada parámetro analizado, podemos representarlos mediante una distribución de probabilidad normal, asumiendo que sigue un comportamiento normal.

Para lo cual, es necesario tener los valores promedio y la desviación estándar de cada variable. Por lo que recurrimos a calcular la desviación estándar a partir de la incertidumbre. Mediante el proceso inverso a la obtención de la incertidumbre.

**Por ejemplo:** para el desbalance en corriente de las áreas académicas de  $25.674 \pm 13.571\%$ . Considerando un factor  $k$  de 1, tenemos, en la ecuación (48) y despejando  $u_c(y)$ , se tiene:

$$\frac{U(y)}{k} = \frac{13.571}{1} = 13.571 = u_c(y)$$

Finalmente, asumiendo que la desviación estándar del equipo de medición es prácticamente cero y para un nivel de confianza del 80%, procedemos a la siguiente operación:

$$\frac{u_c(y)}{1.64}$$

En seguida tipificamos la variable  $x$ , es decir la transformamos en  $z$ .

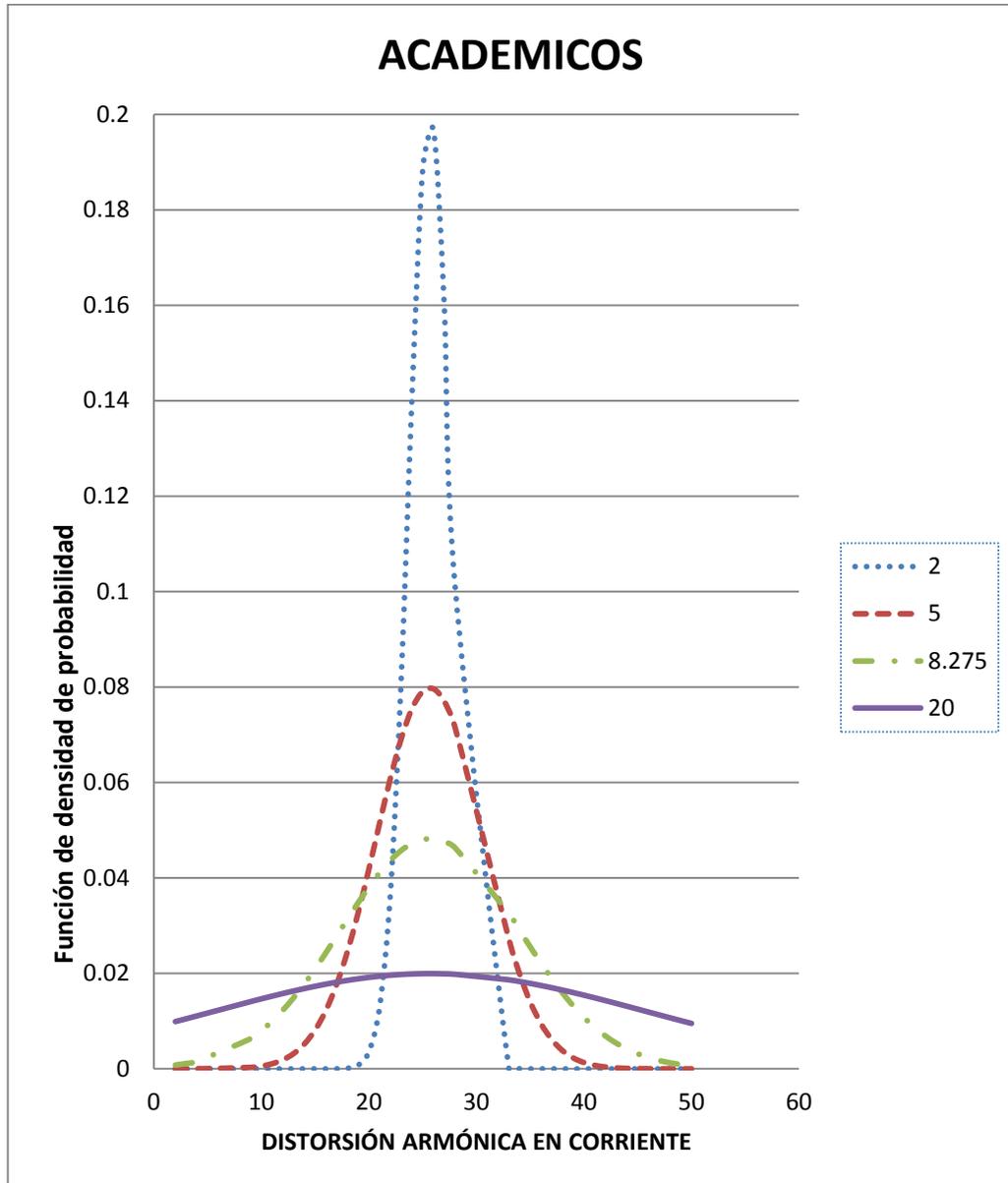
$$z = \frac{x - \bar{q}}{\sigma} \rightarrow z \sim N(0,1)$$

Si quisiéramos saber que probabilidad hay de que la distorsión armónica sea menor de 15, la calculamos por medio de:

$$P(x \leq 15) = P\left(z < \frac{15 - 25.674}{8.275}\right) = P(z < -1.29) = 0.14230985$$

En seguida mostramos las funciones de densidad para cada tipo de actividad preponderante. Con la cual podemos observar claramente como al tener una menor desviación, los valores están más cercanos al promedio. Esto nos indica, que si hacemos un monitoreo de parámetros eléctricos, es muy probable que obtengamos valores muy próximos a la media; contrariamente si tenemos una desviación de mayor valor, tenemos la posibilidad de obtener valores dentro de un mayor rango de valores.

Por ejemplo: Retomando los valores de las dependencias con actividades académicas, tenemos una media de 25.674% de distorsión armónica en corriente, y variando la desviación estándar, tal como se muestran en la siguiente gráfica. Se observa que si se tiene una desviación estándar pequeña obtenemos una mayor concentración de los datos alrededor de la media, sin embargo, con forme hacemos más grande esta desviación, obtenemos una curva cada vez más aplanada.



GRÁFICA 12.1 VARIACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PARA UNA DATC DE 25.674%.

Del valor obtenido de 25.674% de distorsión armónica en corriente Por lo que, nos percatamos que nuestra desviación estándar obtenida es muy alta, ya que nos arroja un gran margen de incertidumbre.

$$[25.674 - 13.571, 25.674 + 13.571]$$

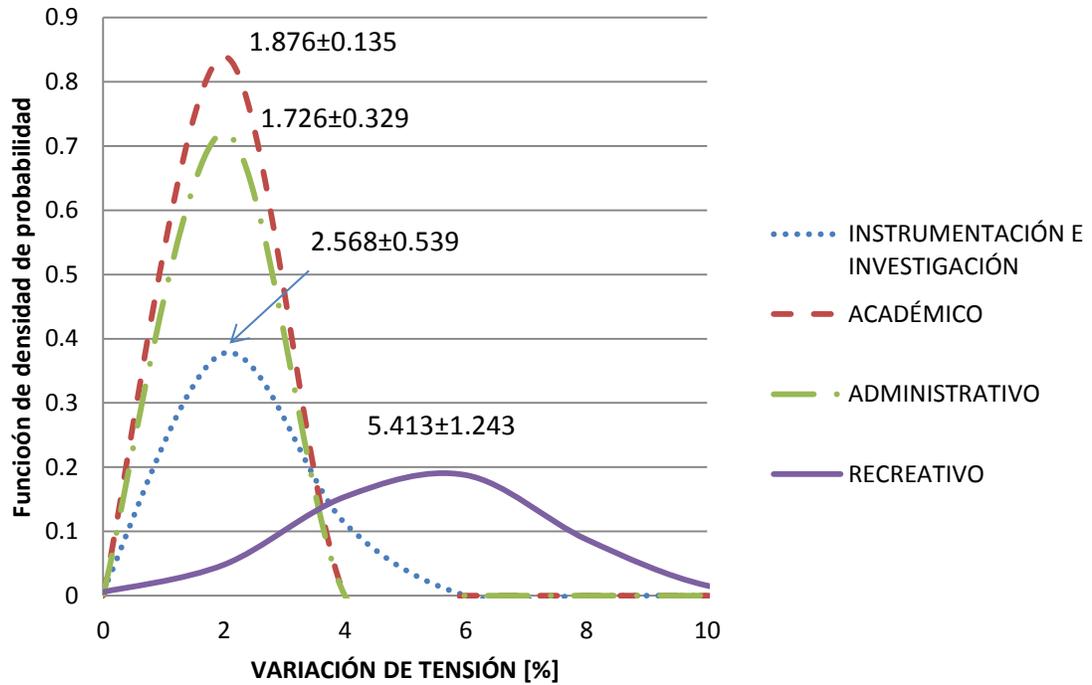
$$[12.103, 39.245]$$

Lo que nos indica que al hacer una medición en dependencias de este tipo, no podríamos tener tanta certeza de que valor de distorsión obtendríamos.

Lo ideal hubiera sido haber obtenido un valor de incertidumbre relativamente pequeño, de ésta manera estaríamos garantizando que al hacer mediciones de DATC, en este tipo de dependencias, los valores posibles estarían contenidos dentro de un rango muy pequeño de valores. Como por ejemplo una incertidumbre de 2 o menor como muestra la gráfica anterior.

## VARIACIÓN DE TENSIÓN

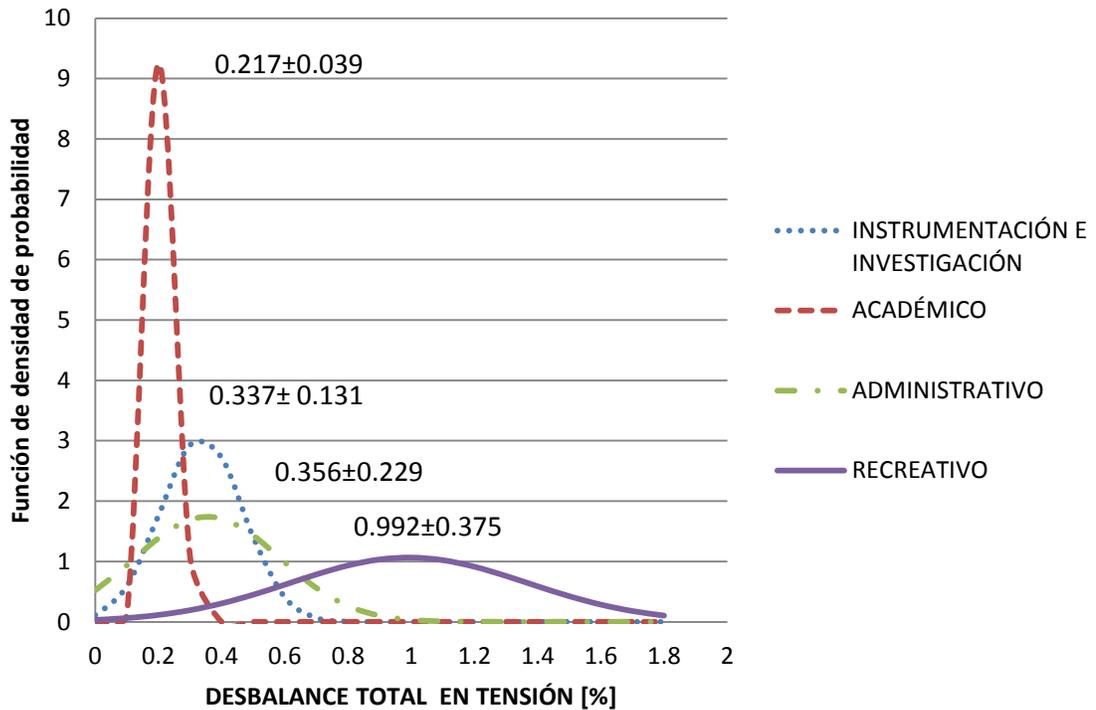
En el dependencias con actividades relacionadas exclusivamente a la docencia, se tiene la menor variación de tensión, junto con las áreas administrativas, en mayor medida se encuentran las de instrumentación e investigación y por último las recreativas son las que presentan una mayor variación, éste sesgo se debe a que los monitoreos tomados para este tipo de actividades fueron únicamente en el centro histórico, lo cual conlleva a una mala caracterización ya que en este caso influye notablemente la red eléctrica en donde se ubican dichas dependencias.



GRÁFICA 12.2 F.D.P DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN.

## DESBALANCE DE TENSIÓN

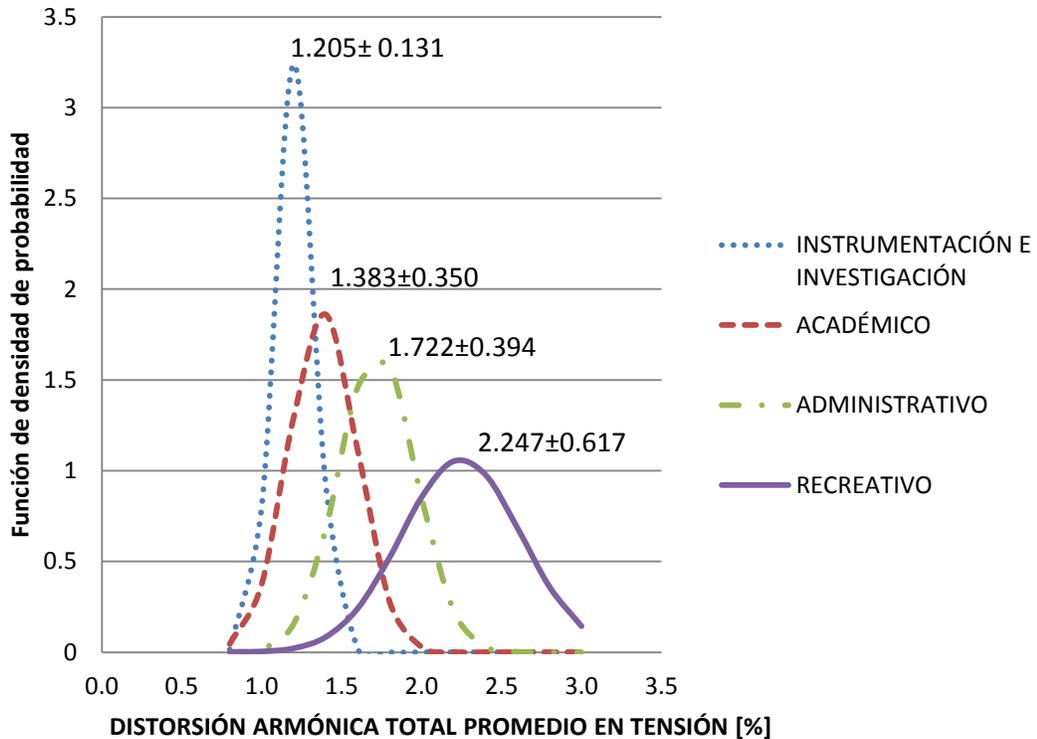
En cuanto a éste parámetro el mayor desbalance entre fases se presenta en dependencias con actividades recreativas, sin embargo se observa que tiene una gran incertidumbre, los cuales se deben principalmente por el Antiguo colegio de san Ildefonso y de la Academia de San Carlos. Le sigue las áreas administrativas, con una incertidumbre un tanto menor a la anterior, que es debida al gran desbalance que se presenta en la Torre de Ingeniería. En seguida de las áreas de Instrumentación e Investigación, los cuales también tienen una incertidumbre relativamente grande, influenciada por el valor del CCIQS. En cuanto a las académicas se observa que los valores tienen un rango de valores más pequeño



GRÁFICA 12.3 F.D.P. DE DTT.

## DISTORSION ARMONICA EN TENSION

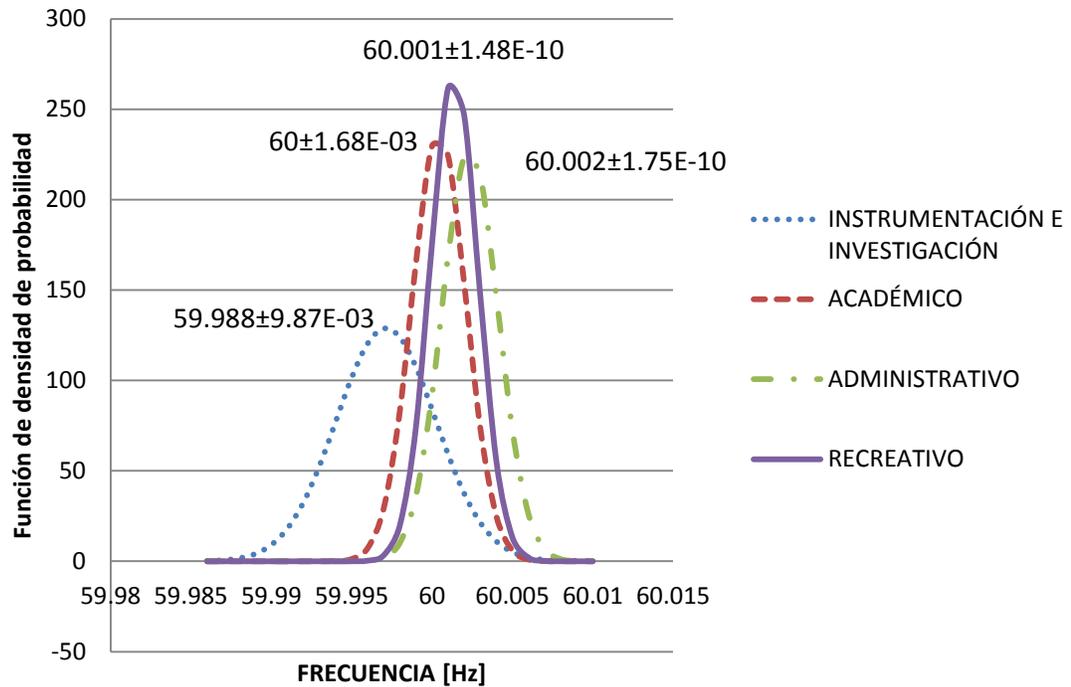
En éste parámetro, encontramos que se tiene una caracterización más notoria, ya que los valores promedios obtenidos están más distribuidos, lo que hace que cada uno de las actividades preponderantes, tenga una DATT característica, los cuales son mostrados en el gráfico. Se observa que de igual modo las áreas recreativas, tienen un mayor e incertidumbre que son influenciadas por el Antiguo colegio de san Ildefonso y de la Academia de San Carlos quienes tienen los mayores valores comparados con los otros dos.



GRÁFICA 12.4 F.D.P. DE LA DATT.

## FRECUENCIA

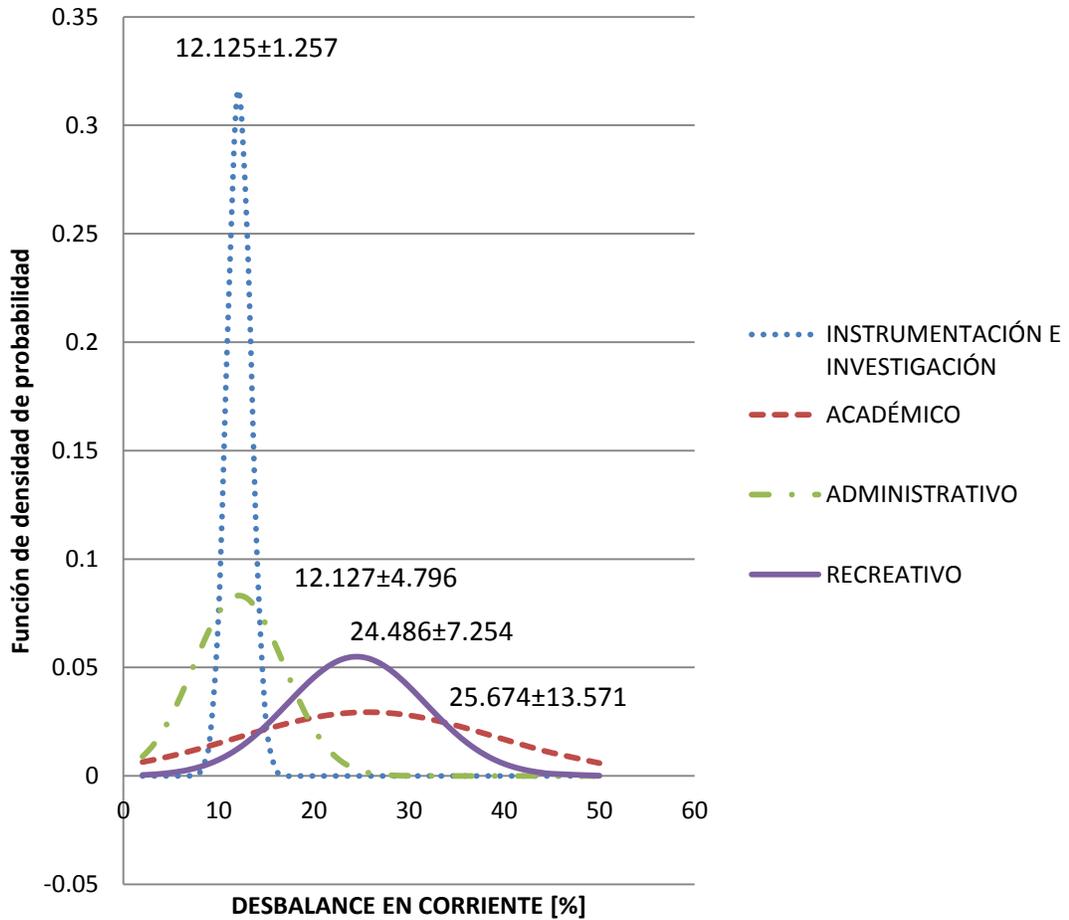
Al igual como en las variaciones de tensión, en las dependencias con actividades relacionadas con la Instrumentación e Investigación, la ausencia de tensión causa una baja en la frecuencia, por lo que, se muestra en el los gráficos de densidad de probabilidad, un mayor rango de valores que puede tomar. Comparado con las demás actividades, los cuales rondan en una frecuencia promedio de 60 Hz.



GRÁFICA 12.5 F.D.P. DE LA FRECUENCIA.

## DESBALANCE DE CORRIENTE

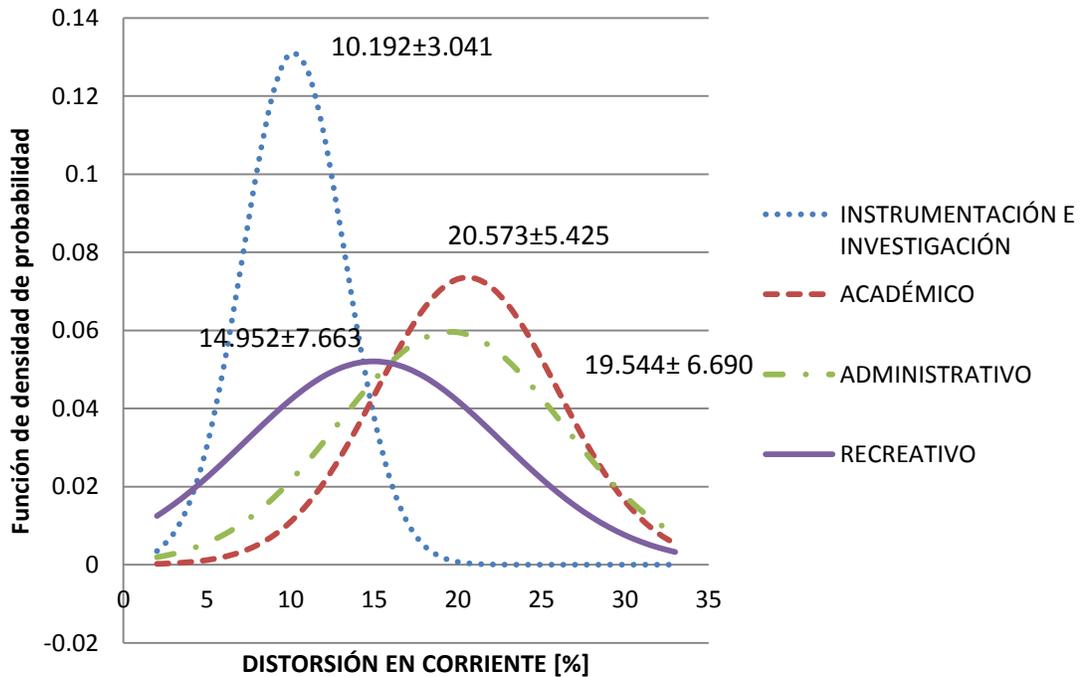
Las actividades relacionadas con la Instrumentación e Investigación, las administrativas, coinciden con un promedio de 12, sólo que con diferente incertidumbre; respecto a la segunda, ésta tiene una mayor incertidumbre, la cual es debida al edificio de Rectoría, quien tiene un desbalance en corriente de 10.62%, a diferencia del resto que en promedio tienen un valor de 22.52%.



GRÁFICA 12.6 F.D.P. DEL DESBALANCE EN CORRIENTE.

## DISTORSION ARMONICA EN CORRIENTE

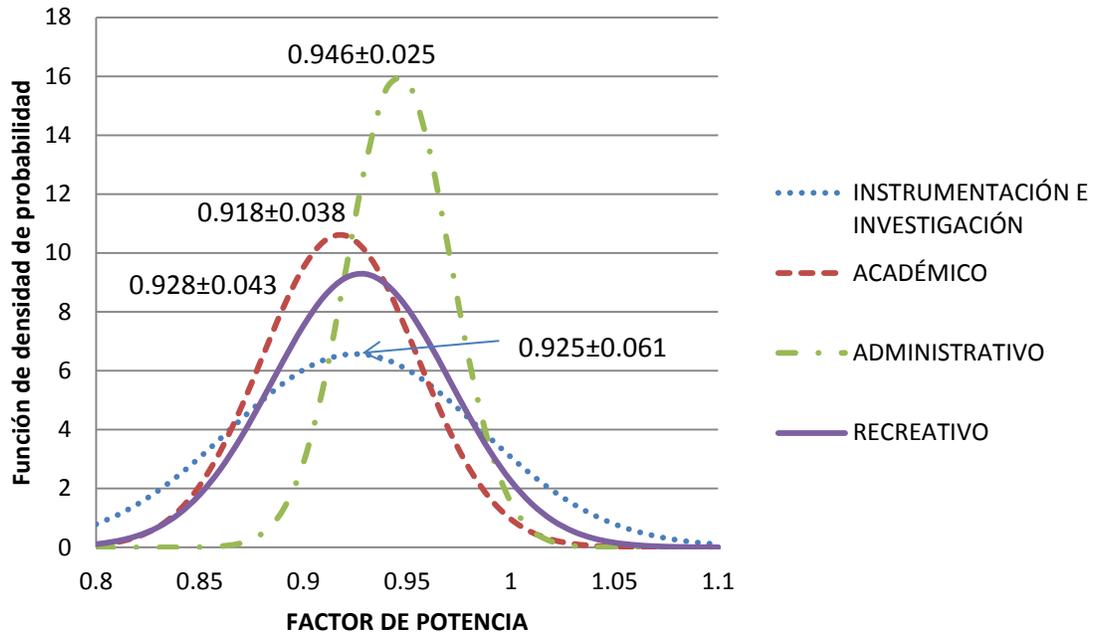
Dependencias con cargas donde mayormente predominan cargas de computo e iluminación, es decir cargas no lineales que inyectan una gran cantidad de armónicos, son las actividades de tipo Académicas y Administrativas, se obtuvo que los tres tienen un DATC alrededor de 20%, para ser más precisos dentro de un rango de [15.148,25.998], así mismo dependencias con actividades Recreativas, donde prevalecen meramente cargas de iluminación, tienen un promedio de 14.952, con un rango de valores [7.289, 22.615]. Por otra parte tenemos dependencias dedicadas a la investigación e Instrumentación, que tienen un promedio de tan solo 10.192 con un rango de valores que van de 7.151 a 13.232%.



GRÁFICA 12.7 F.D.P. DE LA DATC

## FACTOR DE POTENCIA

Las dependencias que registró un mayor factor de potencia fueron aquellas, que se dedican primordialmente a actividades relacionadas al área Administrativa, con un  $0.946 \pm 0.025$ , y las demás dependencias se mantienen en un valor promedio de 0.924 e incertidumbres mayores a 0.038.



GRÁFICA 12.8 F.D.P. DEL FACTOR DE POTENCIA.

## GLOSARIO

---

**Incertidumbre de medición.** Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente, al mensurando.

**Incertidumbre estándar.** Incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación normal:

**Evaluación (de incertidumbre) tipo A.** Método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones. Tipo A:

**Evaluación (de incertidumbre) tipo B.** Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones. Tipo B:

**Incertidumbre normal combinada.** Incertidumbre normal del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo estos términos las varianzas y las covarianzas de otras magnitudes ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con respecto a cambios en estas magnitudes.

**Incertidumbre expandida.** Cantidad que define un intervalo alrededor de una medición del que se puede esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que pudiera atribuirse razonablemente al mensurando.

**Factor de cobertura.** Factor numérico  $k$  usado como multiplicador de la incertidumbre normal combinada, con el propósito de obtener una incertidumbre expandida. Está determinado por el nivel de confianza.

**Nivel de confianza.** Es la probabilidad de que el intervalo de confianza a calcular contenga al verdadero valor del parámetro. Se indica por  $1 - \alpha$  y habitualmente se da en porcentaje.

**Distribución t de Student.** Una distribución,  $t$ , de student refleja las limitaciones de la información disponible debidas al número infinito de mediciones. Esta distribución coincide con la distribución normal en el límite cuando  $n$  tiende a infinito, pero difiere considerablemente de ella cuando  $n$  es pequeña.

**Grados de libertad.** El número  $v$  de grados de libertad puede considerarse una incertidumbre de la incertidumbre de esa magnitud. Entre mayor sea  $v$ , la estimación de la incertidumbre será más confiable.