



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

Análisis de la Calidad de Energía Eléctrica en Centro de Carga Conectado a Media Tensión

Tesis

Que para obtener el Título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Rafael Briseño Fuentes

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Abel Verde Cruz



FES Aragón

Ciudad Nezahualcoyotl, Edo. Mex, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



DEDICATORIA

Este trabajo tan importante para mí va dedicado a mi familia, amigos, profesores y aquellas personas que tuve el gusto de conocer, aunque haya sido el trato más efímero, pues con sus palabras y acciones tuve la inspiración y fortaleza para lograr algo que años atrás se me hubiera hecho imposible.

Una vez alguien me dijo “Todas las personas que conozcas te van a dejar algo bueno o malo, la cosa es aprender de ello”, agradezco a todas esas personas por dejarme esas enseñanzas.

GRACIAS



AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Rafael Briseño y María del Carmen Fuentes

No existen palabras para expresar el infinito amor y respeto que les tengo, porque gracias a ustedes soy lo que soy.

A mis hermanos

Miriam Briseño y Raúl Ubaldo Briseño

Gracias por sus buenos consejos, regaños y demás. Los amo.

A mi Abuela y mi Tía

María del Carmen Jiménez y Janet Fuentes

Por su infinito apoyo, comprensión y amor.

A mis abuelos †

Raúl Fuentes y Ubaldo Briseño

Por sus grandes enseñanzas, así como sus consejos de vida a pesar del poco tiempo que tuve el honor de convivir con ustedes.

Se que me apoyan donde quiera que estén.

A mis amigos

A todos los amigos que he tenido a lo largo de mi vida, sin mencionar nombres para no omitir a ninguno.

A mis profesores

A todos aquellos profesores que he tenido el gusto de conocer y recibir grandes enseñanzas académicas, así como un gran apoyo para este logro.



INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
INDICE	4
INTRODUCCION	6
OBJETIVO	6
1. Calidad de la Energía Eléctrica	7
1.1 Definición.....	7
1.2 Requerimientos para el estudio.....	7
1.3 Código de Red	8
2. Criterios de Ingeniería en el Estudio de la Calidad en la Energía Eléctrica	11
2.1 Tensión	11
2.1.1 Tensión de Línea a Neutro	11
2.1.2 Tensión de Línea a Línea	12
2.1.3 Tensiones Manejadas en México.....	13
2.2 Corriente Eléctrica RMS.....	14
2.3 Distorsión de la Forma de Onda.....	15
2.3.1 Armónicos	15
2.3.2 Distorsión Armónica Total THD (Total Harmonic Distorcion).....	19
2.4 Desbalance de Tensión UNB U.....	20
2.5 Desbalance de Corriente UNB I.....	21
2.6 Flicker	21
2.7 Potencia	25
2.7.1 Potencia Aparente (S).....	26
2.7.2 Potencia Activa (P)	26
2.7.3 Potencia Reactiva (Q)	27
2.8 Factor de Potencia	28
3. Analizador de Calidad de Energía Eléctrica	29
3.1. MI 2892 Power Master Clase A	29
3.1.1 Características Principales	29
3.1.2 Descripción del Analizador	31
3.1.3 Panel de Conexiones	32



3.1.4 Accesorios	33
3.2 Pantalla y teclas del Analizador	33
3.2.1 Barra de Estado del Analizador	33
3.2.2 Teclas del Analizador	35
3.3 Parámetros medidos por el equipo para realizar el Estudio de la Calidad en la Energía Eléctrica.....	37
3.4 Configuración del Equipo.....	37
3.5 Normatividad aplicada en el Analizador	38
3.6 Normatividad aplicada en el Análisis de Calidad de Energía Eléctrica.....	39
4. Características del centro de carga en media tensión.....	42
4.1 Media Tensión	42
4.2 Centros de Carga	44
4.3 Lugares donde se realizó el muestreo dentro del Centro de Carga.	45
4.4 Datos del suministro emitido por C.F.E. al Centro de Carga en Media Tensión.....	45
4.5 Datos recopilados de placa en los transformadores ubicados en el Centro de Carga. .	46
4.6 Perfil de Demanda en los Transformadores	46
4.7 Parámetros Actuales de la Red Eléctrica	46
4.8 Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente y Tensión	47
5. Parámetros de Calidad de la Energía Eléctrica en el Centro de Carga de Media Tensión...	48
5.1 Intervalos y aspectos a medir del equipo.....	48
5.2 Resultados del análisis correspondiente de los parámetros registrados.....	49
5.3 Resumen de los datos analizados	52
5.4 Gráficas obtenidas en TR-SUB 1.....	53
5.5 Gráficas obtenidas en TR-SUB 2.....	65
CONCLUSIONES.....	77
ANEXO 1 Diagramas Fasoriales, Graficas de Tensión y Graficas Corriente	78
ANEXO 2 Graficas de Tendencia en Potencia Activa, Frecuencia y Potencias.....	83
REFERENCIAS ELECTRONICAS	88
NORMAS CONSULTADAS.....	89



INTRODUCCION

En la actualidad, la Calidad de la Energía Eléctrica tiene una importancia increíble, esto debido al cambio climático generado en estos tiempos.

Por ello la CRE, la IEEE, CFE, entre otras empresas han decidido regular el consumo y el regreso de la energía en los centros de carga creando una serie de normas para que así, CFE no se vea obligado a generar más energía que la que se demanda. Aplicando sanciones a quien este fuera de norma.

Esto con el objetivo de reducir la explotación de recursos naturales al momento de generar la energía, evitando generar más emisiones de Dióxido de carbono, explotación de mantos acuíferos etc.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es el exponer un Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en un centro de carga conectada a media tensión, tomando en cuenta los parámetros de ingeniería que se mencionan y describen a continuación, así como saber en qué normativas se realizan dichos estudios.

Para Comisión Federal de Electricidad (CFE) su objetivo es el siguiente:

“Verificar que la calidad de energía en el punto de acoplamiento común, no se deteriore con la entrada de la carga del cliente. Esto con el fin que los reactivos que se necesitan se suministren dentro de su planta para alcanzar un factor de potencia igual o mayor a 0.9, así como para asegurar los niveles de armónicos de corriente que se encuentran dentro de la especificación CFE L0000-45 y que las variaciones de tensión que pudieran provocar sus cargas no perjudiquen a otros clientes cercanos”

CFE L0000-70



1. Calidad de la Energía Eléctrica

1.1 Definición

No existe una definición exacta, pues esto depende del organismo que lo interprete, por ejemplo, para el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) define que la calidad de la energía “es la alimentación y puesta de tierra de equipos electrónicos sensibles en una manera que sea adecuado para su operación”.

Para Comisión Federal de Electricidad (CFE) se define como “Las características Eléctricas de un punto determinado del sistema eléctrico, evaluadas con respecto a un conjunto de parámetros y sus valores de referencia, relacionados a la compatibilidad electromagnética entre el suministrador y los clientes”:

Los especialistas argumentan que la calidad de la energía es un conjunto de límites eléctricos que permiten que una pieza de un equipo pueda funcionar de la manera prevista sin la pérdida significativa en su rendimiento o en su esperanza de vida.

Para tener el concepto claro durante este trabajo, opto por adoptar la siguiente definición:

“Es la ausencia de problemas en la energía, ya que se pueden manifestar en el voltaje, corriente o en la frecuencia desviando los resultados de operación produciendo fallas o mal funcionamiento del equipo del cliente.”

1.2 Requerimientos para el estudio

Para poder realizar un estudio de Calidad de Energía se debe tener en cuenta

- Variaciones de tensión
- Flujo de Armónicos
- Mediciones en el punto de acoplamiento (Factor de Potencia, Armónicos, Flicker)
- **Corto Circuito** (corriente de corto circuito en el Bus más próximo al estudio)



Sin embargo, se resalta Corto Circuito, debido a que no es parte del estudio del Análisis de la Calidad de Energía, esto es un estudio que se tiene que realizar previo al estudio de Calidad, puesto que, si no se hace, las mediciones obtenidas pueden variar e incluso afectar al estudio, esto debido a las capacidades interruptoras de las protecciones, las corrientes de operación u otros factores.

1.3 Código de Red

Hoy en día, existe una regulación llamada *Código de red*, esto no es más que una serie de sanciones emitidas por la CRE (Comisión Reguladora de Energía) que va dirigido a centros de carga que estén conectados a Media y Alta Tensión.

Su propósito es verificar la calidad de energía eléctrica que operan los centros de carga, esto debido a que si la calidad es mala CFE está obligado a generar mayor energía que la consumida.

Por otro lado, al momento de solicitar un estudio de *Código de Red*, está obligado a realizar todos los estudios que a continuación se enlistan:

- *Corto Circuito*: Tiene un impacto directo sobre la seguridad eléctrica, pues una combinación entre un nivel de Corto Circuito elevado y una mala selección de capacidades interruptoras puede desatar una explosión poniendo en riesgo las instalaciones del centro de carga, el equipo mismo y lo más importante, la integridad del ser humano.

Consiste en obtener la impedancia total en un punto de un Sistema Eléctrico en donde se simulará una pérdida de aislamiento en alguno de los alimentadores.

Este valor permite conocer la magnitud de la corriente cuando se presenta cualquier tipo de falla:

- TRIFASICA
- LINEA A LINEA
- LINEA A TIERRA
- DOBLE LINEA A TIERRA



- Coordinación de Protecciones: Consiste en procurar que los dispositivos de protección sean selectivos, es decir que solo debe operar la protección más cercana a la falla, si por alguna razón el dispositivo de protección no responde, debe operar el respaldo con margen de retarde de tiempo llamado *margen de protección*.

Su objetivo es configurar los esquemas de protección y asegurar que las fallas sean aisladas en el menor tiempo posible, para así evitar daño al equipo y al personal operativo, preservando la continuidad del servicio

Algunos componentes de protección para aislar Cortocircuito son:

- Fusibles
 - Interruptores de potencia
 - Relevadores
 - Interruptores electromagnéticos
 - Interruptores termomagnéticos
- Flujos de Carga: Permite analizar el rendimiento en régimen permanente del sistema eléctrico bajo una variedad de condiciones operativas y estudiar los efectos de los cambios en la configuración de la red y los equipos.

Nos permite determinar

- Fasores de voltaje nodales y los flujos de potencias en las ramas de la red.
- Equipos o circuitos sobrecargados
- Simular diferentes condiciones de operación
- Simula contingencias
- Simula máximo rendimiento en la red eléctrica
- Se pueden obtener condiciones de operación con menores pérdidas.



- Flujos de Armónicos (Calidad de la energía): Por ser un análisis de calidad de energía no se pondrá una descripción, puesto que la explicación viene como un capítulo de este trabajo.

Esto solo se menciona para resaltar que el estudio de Corto Circuito no está incluido en el estudio de la Calidad de Energía Eléctrica, sin embargo, va de la mano con este. Por otro lado, se da a conocer que existe una regulación que exige el estudio de estos puntos, con el objetivo de evitar multas y tener una buena calidad de energía.



Figura 1.3 Código de Red

2. Criterios de Ingeniería en el Estudio de la Calidad en la Energía Eléctrica

2.1 Tensión

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

2.1.1 Tensión de Línea a Neutro

Las tensiones de Fase son las tensiones que existen entre cada línea y el neutro, se denominan U_{10} , U_{20} y U_{30} .

Nos referimos a la tensión que hay entre una línea y el neutro o la masa/tierra.

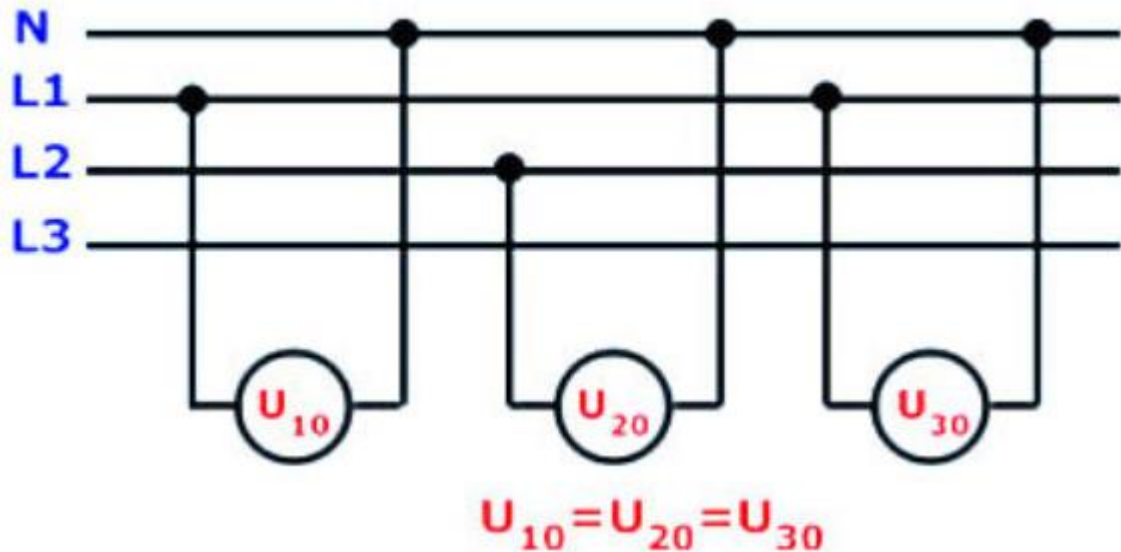


Figura 2.1.1 Tensión de Fase



2.1.2 Tensión de Línea a Línea

Las tensiones de línea son aquellas tensiones que existen entre diferentes líneas. Estas tensiones se denominan U_{12} , U_{23} y U_{31} .

Nos referimos a la tensión que hay entre dos fases.

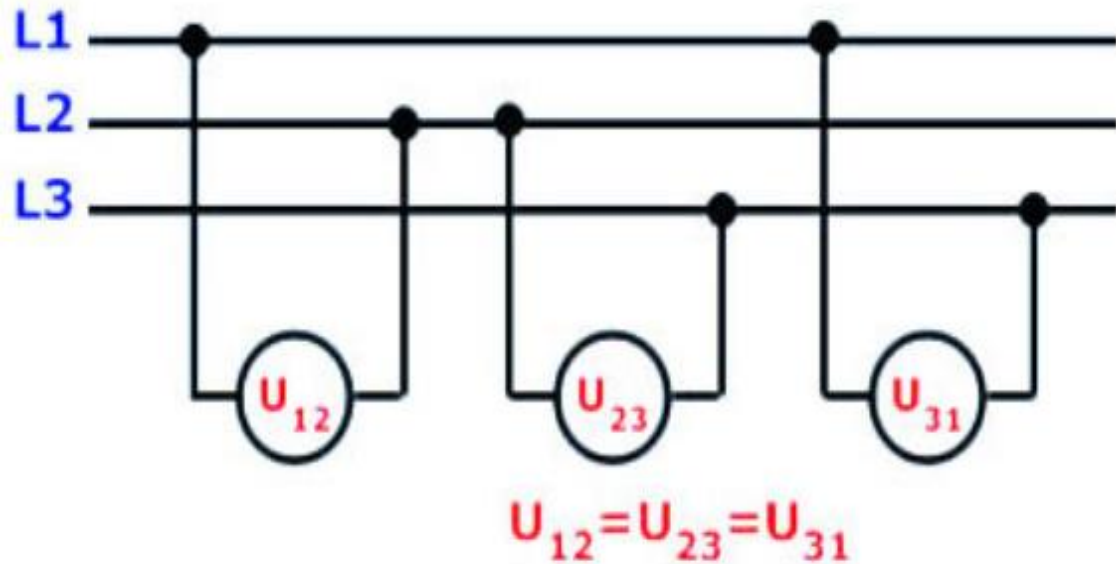


Figura 2.1.2 Tensión de Línea



2.1.3 Tensiones Manejadas en México.

Dentro de la *Especificación CFE-L0000-12* publicada en Enero del 2011, se establecen los niveles de tensión que maneja el territorio nacional. A Continuación, se anexan las tablas extraída de esa especificación.

Dentro de la misma, encontramos el ¿Por qué? El centro de carga está conectado a media tensión, pues en el punto **4.3** establece que *Media Tensión* es aquella que supera las 1000 V hasta los 35 000 V.

Tensión (V)	Centrales Termoeléctricas	Centrales Hidroeléctricas	Centrales Geotermoeléctricas	Centrales Eoloeléctricas	Estatus
440	---	---	---	---	Restringida
480 ¹⁾	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Preferente
690 ²⁾	---	---	---	Conexión Y	Preferente
4 160	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia	---	---	---	Preferente
13 200	---	---	---	---	Restringida
13 800	---	Conexión Y-neutro aterrizado a través de transformador	---	---	Preferente
15 000	---	---	---	---	Preferente
17 000	---	---	---	---	Preferente
20 000 ²⁾	---	---	---	---	Preferente

Tabla 2.1.3 (a) Tipos de Sistema y tensiones nominales para generación

Tensión (V)	Centrales Termoeléctricas	Centrales Hidroeléctricas	Centrales Geotermoeléctricas	Centrales Eoloeléctricas	Estatus
220	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Preferente
	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Restringida
240	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Preferente
440	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Restringida
480	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	Conexión Y- neutro aterrizado a través de resistencia	Conexión Y-neutro sólidamente conectado a tierra	---	Preferente
	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia				
4 160	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia	---	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia	---	Preferente
6 900	Conexión Y-neutro aterrizado a través de resistencia	---	---	---	Preferente

Tabla 2.1.3 (b) Tipos de Sistema y tensiones nominales para los sistemas auxiliares

Tensión Nominal del Sistema, V	Tipo de Sistema	Límites , V		Observaciones
		Mínimo	Máximo	
220Y/127	3 fases-3 y 4 hilos	198Y/115	242/140	
240Y/139	3 fases-3 y 4 hilos	208Y/120	254Y/146	Para motores
		212Y/122	254Y/146	Para alumbrado
480	3 fases-3 hilos	416	508	Para motores
480Y/277	3 fases-4 hilos	424Y/245	508Y/293	-
4 160	3 fases-3 hilos	3600	4 400	-
6 900	3 fases-3 hilos	5940	7 260	-

Tabla 2.1.3 (c) Límite de las tensiones de utilización para servicios auxiliares

2.2 Corriente Eléctrica RMS

El flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo a través de una superficie o bien, la circulación de electrones a través de un medio conductor en un tiempo determinado tomando su valor medio cuadrático o por sus siglas en inglés RMS (Root Mean Square)

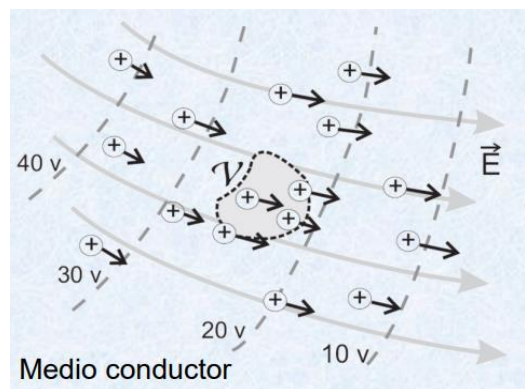


Figura 2.2 Flujo de Corriente Eléctrica

2.3 Distorsión de la Forma de Onda

Es un desvío en Régimen permanente, de tensión o corriente en relación con la onda original pura.

(Los conceptos matemáticos que se utilizan es la *SERIE DE FOURIER*)

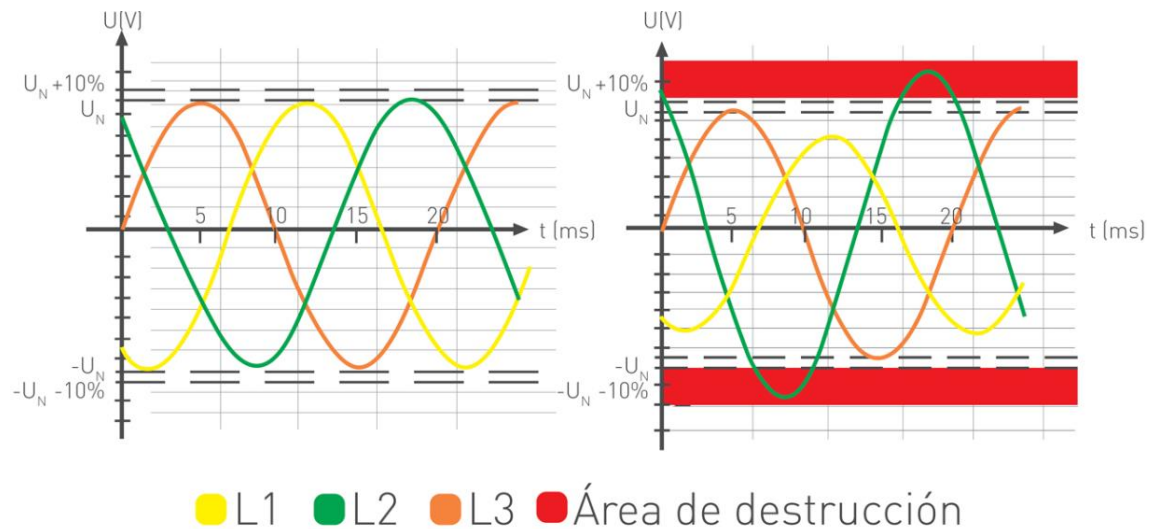


Imagen 2.3 (a) Onda Original

Imagen 2.3 (b) Onda Distorsionada

2.3.1 Armónicos

Los Armónicos son Tensiones o Corrientes Sinusoidales con Frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Cualquier forma de onda periódica puede representarse como una serie de ondas senoidales de diferentes frecuencias y fases constituyendo espectro armónico de la onda.

La secuencia de los Armónicos puede ser positiva (inyectan corrientes en el sentido de las agujas del reloj), negativa (inyectan corrientes en el sentido contrario de las agujas del reloj) y secuencia cero (estas no tienen un sentido de rotación).

ARMONICO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FRECUENCIA	60	120	180	240	300	360	420	480	540
SECUENCIA	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Tabla 2.3.1 (a) Sentido de Armónicos

Orden del armónico	Frecuencia	Amplitud relativa
Fundamental	50Hz	100%
3°	150Hz	33%
5°	250Hz	20%
7°	350Hz	14%
9°	450Hz	11%
orden n	50nHz	100/n %

Tabla 2.3.1 (b) Relación de Armónico con la Frecuencia

En la siguiente figura se muestra como es el comportamiento de algunos armónicos más importantes, debido a que estos por su frecuencia pueden llegar a causar un gran daño al sistema.

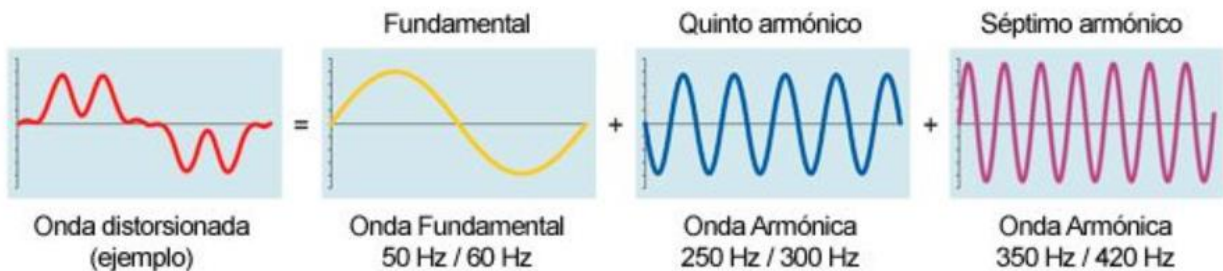


Imagen 2.3.1(a) Suma de Armónicos con la Onda Fundamental

Los Armónicos son provocados por Cargas No Lineales en el Sistema eléctrico, esto significa que su impedancia no es constante (depende de la tensión y de la frecuencia), por lo que se conocen como fuentes armónicas.

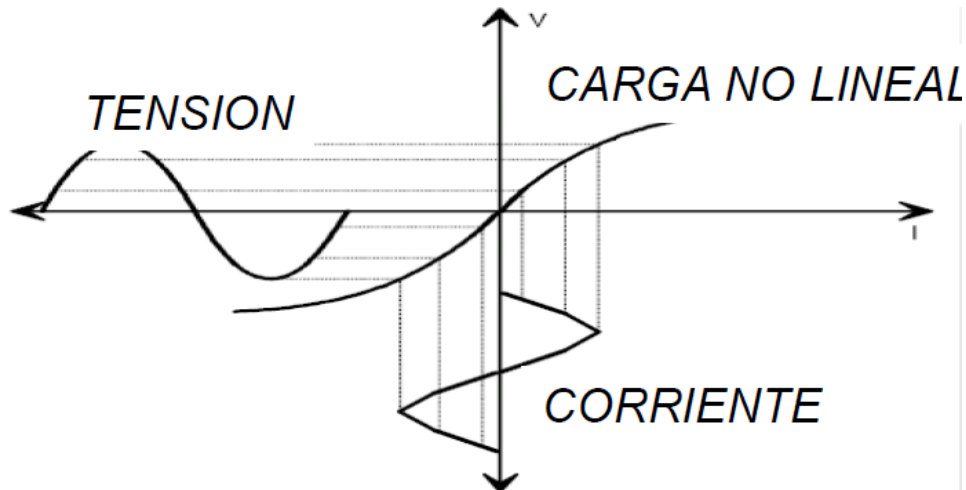


Figura 2.3.1(b) Comportamiento de Carga no lineal y su corriente

Las principales Fuentes de Armónicos son:

- Saturación de Transformadores
- Corrientes de Energización de los Transformadores
- Hornos de Arco Eléctrico
- Cargadores de Baterías
- Bancos de Capacitores

Sus efectos dependen de la Secuencia del Armónico, es decir cada Armónico genera diferentes problemas, los Armónicos de Secuencia Positiva generan aperturas no deseadas en los interruptores, los Armónicos de Secuencia Negativa generan un mal funcionamiento de las maquinas rotatorias (frenado de motores) y los Armónicos de Secuencia Cero Aumentan las corrientes en el Neutro.

De manera general, los Armónicos generan algunos de los siguientes problemas:

- Mala Operación en los Instrumentos de Control
- Error en las Mediciones
- Sobre Carga en los Conductores
- Calentamiento
- Resonancia en el Sistema

Los Armónicos no se pueden eliminar de un sistema a menos que se tengas puramente cargas lineales, pero se pueden mitigar de las siguientes maneras.

- Bloquear el paso de las Corrientes Armónicas hacia los equipos sensibles, dejando que las corrientes circulen por el resto de la Red Eléctrica.
- Bloquear y absorber las Corrientes, confinándolas en cierta parte de la Red Eléctrica.
- Sobre dimensionar los equipos y conductores con el fin de minimizar los efectos nocivos que provocan.
- Filtros Pasivos
- Filtros Activos

Algunos ejemplos de Armónicos que generan ciertas cargas son los siguientes:

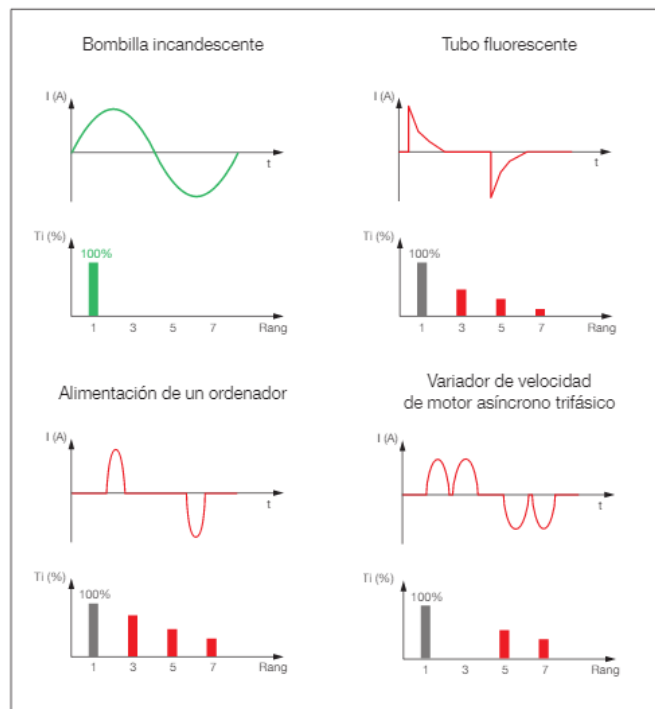


Imagen 2.3.1(b) Espectro Armónico



2.3.2 Distorsión Armónica Total THD (Total Harmonic Distorsion)

Expresa la cantidad de distorsión armónica contenida en una onda distorsionada. Esta puede ser para la magnitud de Tensión (THD U) o de Corriente (THD I) y puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} * 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Orden de armónico	% de Tensión de armónico de MT	% de Tensión de armónico de AT-EAT
3	5	2,5
5	6	3,0
7	5	2,5
11	3,5	1,7
13	3	1,7
17	2	1,2
19	1,5	1,2
23	1,5	0,8
25	1,5	0,8
THD	8	4

2.3.2 (a) Tabla niveles para armónicos de tensión.

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} * 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Impedancia relativa (I_{sc} / I_L)	Para armónicas impares (%)					Distorsión Total de Demanda DTD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$(I_{sc} / I_L) < 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 \leq (I_{sc} / I_L) < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 \leq (I_{sc} / I_L) < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 \leq (I_{sc} / I_L) < 1000$	12	5,5	5	2	1	15
$(I_{sc} / I_L) \geq 1000$	15	7	6	2,5	1,4	20

2.3.2 (b) Tabla niveles para armónicos de corriente.

2.4 Desbalance de Tensión UNB U

Es la máxima desviación del voltaje de Fase con respecto al valor de Fase promedio, dividido entre el voltaje de Fase promedio.

En un lenguaje más técnico, el Desbalance de Tensión es la condición en un sistema trifásico en que las magnitudes de las tensiones y/o las diferencias angulares relativas no son iguales.

El Desbalance de Tensión se calcula de la siguiente manera:

$$PVUR = \frac{\text{Desviación máxima del promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}}{\text{Promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}}$$

Donde:

V_a, V_b, V_c son las tensiones fase-neutro del sistema (3)

Su principal problemática es el calentamiento excesivo en los conductores, puesto que un Desbalance de Tensión puede provocar un enorme Desbalance de Corriente. Los sistemas Desequilibrados se pueden analizar con base a las componentes simétricas

- Secuencia Positiva y Negativa: sus fasores tienen igual magnitud desfasados 120° entre sí.
- Secuencia Cero u Homopolar: sus fasores son iguales en magnitud y fase.

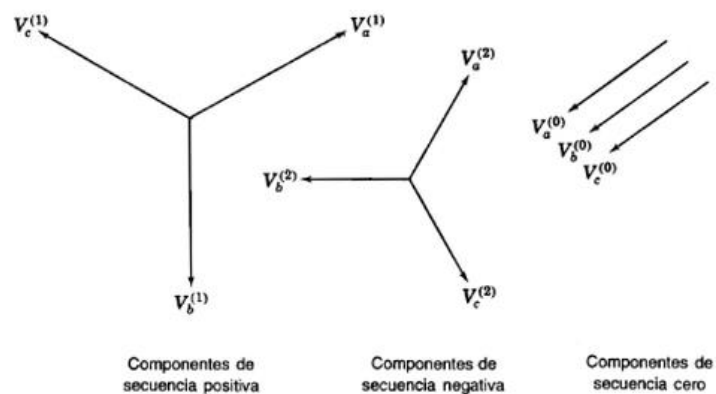


Imagen 2.4 Componentes Simétricas



2.5 Desbalance de Corriente UNB I

Se dice que presenta un desbalance en corrientes cuando sus módulos son desiguales y/o cuando los ángulos de separación entre los fasores de las mencionadas corrientes se apartan de los 120° entre sí.

Contemplando la normativa internacional (IEC 61000-4-30, 2008) o (IEEE Std 1159, 2009), el desbalance en un sistema trifásico se puede cuantificar a través de la relación entre la magnitud de la componente de secuencia negativa y la magnitud de la componente de secuencia positiva, expresada como porcentaje. En el presente trabajo se identifica la mencionada relación como Factor de Desbalance en Corriente (Fdin).

2.6 Flicker

El flicker (parpadeo) es una sensación visual causada por la inestabilidad de una luz. Según IEEE Std. 1100, se define como:

“Una variación en la tensión de entrada, en magnitud o en frecuencia, con duración suficiente para que se aprecie un cambio en la intensidad de una fuente de luz eléctrica.”¹

El nivel de la sensación depende de la frecuencia y magnitud del cambio lumínico y del observador. El cambio del flujo lumínico puede correlacionarse con un envolvente de tensión en la siguiente figura.

¹ IEEE Std. 1100

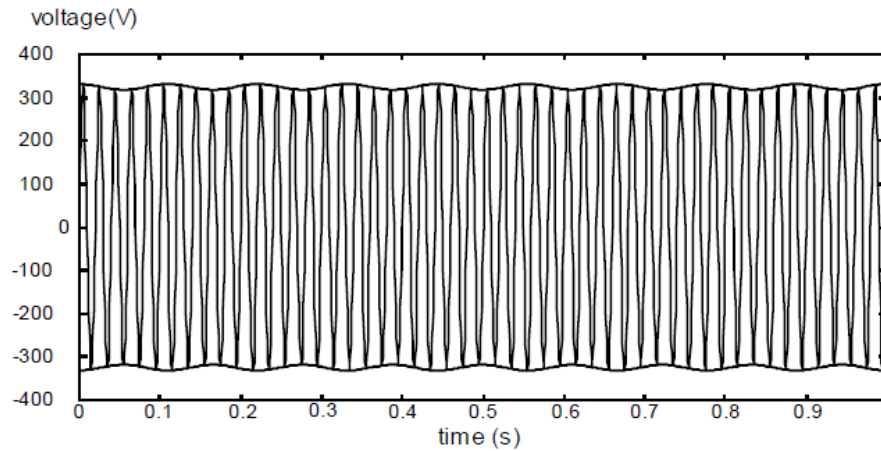


Figura 2.6 Variaciones de Tensión

Los flicker se miden de acuerdo con la normativa IEC 61000-4-15. La normativa define la función de transformación basada en una respuesta lámpara-ojo-cerebro de 230 V / 60 W y 120 V / 60 W.

Debido a este fenómeno, podemos deducir que el *Flicker* se divide en dos partes:

- *FLICKER DE CORTA DURACIÓN (Pst)*

El Flicker de corta duración se calcula de acuerdo con IEC 61000-4-15 (tabla 2.6).

Se evalúa en periodos cortos de tiempo con intervalos de 10 minutos.

- *FLICKER DE LARGA DURACIÓN (Plt)*

Se evalúa su severidad a largo plazo, es decir con intervalos de observación de 2 horas.

El flicker de larga duración se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{tp} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N Pst_i^3}{N}} \dots\dots\dots (4)$$

Son ocasionados por fallas y arranques de cargas grandes, así como la operación de Hornos de Arco Eléctrico, Maquinas para soldar, Motores, cambios grandes de carga e incluso pueden venir desde la generación.



Algunos problemas que genera el tener *FLICKERS* dentro del sistema eléctrico son:

- Parpadeo de monitores
- Parpadeo de lámparas
- Variación de velocidad en los motores
- Desgaste prematuro de fuentes de alimentación

Estas fluctuaciones de Tensión se pueden mitigar haciendo cambios de carga menos frecuentes o cambios de carga más pequeños, es decir, si la carga se cambia gradualmente en lugar de forma escalonada, hace que el parpadeo sea menos perceptible. Esto se logra gracias a la Electrónica de Potencia.



En la siguiente tabla se muestran algunas frecuencias de *FLICKER* y su variación de voltaje, según su nivel de tensión y su frecuencia de operación.

Hz	Voltage fluctuation %		Hz	Voltage fluctuation %	
	120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system		120-V lamp 60 Hz system	230-V lamp 50 Hz system
0,5	2,457	2,340	10,0	0,339	0,260
1,0	1,463	1,432	10,5	0,355	0,270
1,5	1,124	1,080	11,0	0,374	0,282
2,0	0,940	0,882	11,5	0,394	0,296
2,5	0,814	0,754	12,0	0,420	0,312
3,0	0,716	0,654	13,0	0,470	0,348
3,5	0,636	0,568	14,0	0,530	0,388
4,0	0,569	0,500	15,0	0,593	0,432
4,5	0,514	0,446	16,0	0,662	0,480
5,0	0,465	0,398	17,0	0,737	0,530
5,5	0,426	0,360	18,0	0,815	0,584
6,0	0,393	0,328	19,0	0,897	0,640
6,5	0,366	0,300	20,0	0,981	0,700
7,0	0,346	0,280	21,0	1,071	0,760
7,5	0,332	0,266	22,0	1,164	0,824
8,0	0,323	0,256	23,0	1,262	0,890
8,8	0,321	0,250	24,0	1,365	0,962
9,5	0,330	0,254	25,0	1,472	1,042
			33,33	Test not required	2,130
			40,0	4,424	Test not required

Tabla 2.6 % de Fluctuación de Tensión



2.7 Potencia

Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos.

Sabemos que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma, y en este caso no es la excepción, por lo tanto, podemos decir que la potencia eléctrica es la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

En un sistema de corriente alterna, esta “potencia Eléctrica” tiene una definición más complicada, debido a que no solo hablamos de una potencia consumida, si no que aquí trabajamos con 3 potencias *Aparente “S”*, *Activa “P”* y *Reactiva Capacitiva o Reactiva Inductiva “Q”*, en conjunto se le conoce como *POTENCIA COMPLEJA*.

Magnitud	Símbolo	Unidad	Cálculo
Potencia activa	P	Vatio (W)	$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$
Potencia reactiva	Q	Voltamperio reactivo (VAR)	$Q = U \cdot I \cdot \sen\varphi$ $Q = X \cdot I^2 = \frac{U^2}{X}$
Potencia aparente	S	Voltamperio (VA)	$S = U \cdot I$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Tabla 2.7 Formulas para Obtener las Potencias

2.7.1 Potencia Aparente (S)

Es la suma vectorial de la potencia que disipa dicho circuito y se transforma en calor o trabajo (conocida como potencia promedio, activa o real, que se designa con la letra P y se mide en vatios (W)) y la potencia utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes, que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía (conocida como potencia reactiva, que se identifica con la letra Q y se mide en voltamperios reactivos (var)).

Realmente esta potencia no es “útil” excepto en el caso que el $\cos \varphi=1$, pero este es un caso “Ideal”, ya que no solo se conectan elementos puramente resistivos, si no que existen elementos inductivos y capacitivos. Se mide en voltamperios (VA), aunque para aludir a grandes cantidades de potencia aparente lo más frecuente es utilizar como unidad de medida el kilovoltio amperio (kVA).

2.7.2 Potencia Activa (P)

Es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos y, en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se mide en Watts e indica que la potencia activa se debe a los *elementos resistivos*.

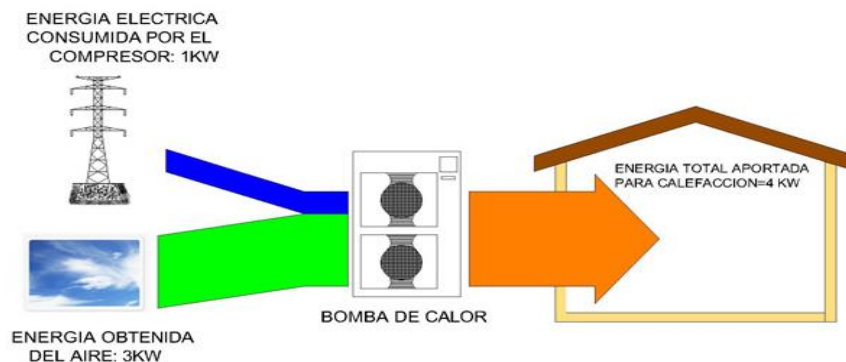


Figura 2.7.2 potencia activa transformada en energía calorífica

2.7.3 Potencia Reactiva (Q)

La potencia reactiva como tal no es energía útil ya que no produce trabajo, pero está presente irremediabilmente cuando hay elementos del tipo inductivo o capacitivo en un circuito eléctrico y es debido a los efectos magnéticos (campo magnético) y eléctricos (campo eléctrico) de dichos dispositivos. Se representa con la letra Q y se mide en VAR.

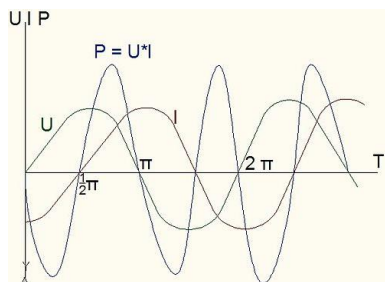


Figura 2.7.3 (a) circuito inductivo

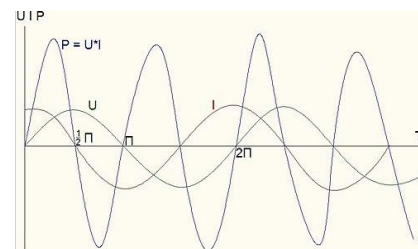


Figura 2.7.3 (b) circuito capacitivo

En palabras más sencillas el circuito inductivo crea un desfase angular de la corriente con respecto a la tensión de 90° ; y en el circuito capacitivo, la tensión se atrasa 90° con respecto a la corriente.

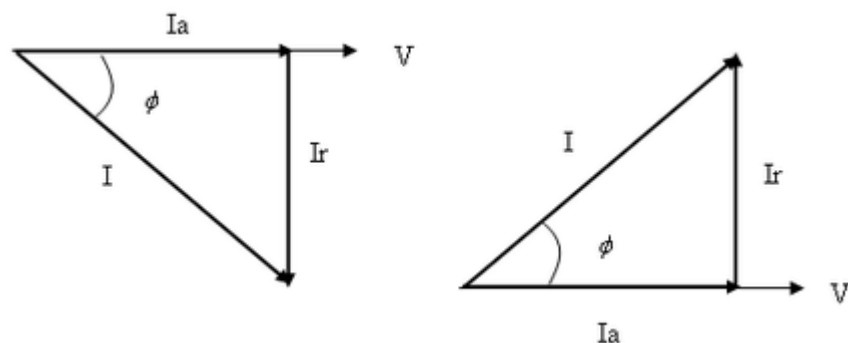


Figura 2.7.3 (c) Triangulo de Potencias



2.8 Factor de Potencia

Al cociente entre potencia promedio y potencia aparente se le denomina factor de potencia.

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{VI \cos(\varphi)}{VI} = \cos(\varphi)$$

El factor de potencia indica la capacidad de una carga de absorber potencia activa a partir de la potencia aparente consumida. Si el factor de potencia es unitario entonces toda la potencia consumida es potencia transformable y el circuito es del tipo resistivo desde la perspectiva del suministrador. En el caso de SEP's lo ideal sería que el factor de potencia fuera unitario*, sin embargo, dependiendo del ente suministrador el factor de potencia no necesariamente debe ser llevado a la unidad, dependiendo del límite entre la aplicación de un recargo o una bonificación.

- Para el caso cuando $\varphi = 0$, se tiene un factor de potencia unitario. - Esto nos dice que tanto la corriente como la tensión están en fase, esto se presenta por lo regular en cargas resistivas como lámparas incandescentes.
- Para el caso cuando $\varphi < 0$, se tiene un factor de potencia retrasado. - Esto nos dice que la corriente se encuentra atrasada respecto a la tensión, esto se presenta por lo regular en cargas inductivas como motores o transformadores.
- Para el caso cuando $\varphi > 0$, se tiene un factor de potencia adelantado. - Esto nos dice que la corriente se encuentra adelantada respecto a la tensión, esto se presenta por lo regular en cargas capacitivas como banco de capacitores.



3. Analizador de Calidad de Energía Eléctrica

A continuación, se menciona el analizador de calidad de energía eléctrica de la marca *METREL* utilizado para la obtención de tendencias de los parámetros de la Calidad de Energía Eléctrica en el centro de carga, al igual que sus características.

Gracias al monitoreo de redes obtenidos por este tipo de equipos, podemos observar por un intervalo de tiempo niveles de tensión, corrientes, frecuencia, potencia (aparente, reactiva y activa), factor de potencia y THD entre otros parámetros.

Por cuestiones del estudio, solo tendremos en cuenta estos factores pues son los que nos permiten realizar el Análisis de Calidad de la Energía.

3.1. MI 2892 Power Master Clase A

Analizador de redes trifásico portátil con un display gráfico y a color de grandes dimensiones, fácil de leer y permitiendo al usuario detectar armónicos, formas de onda, y otros fenómenos en las redes eléctricas.

Alimentado por 6 pilas de NiMH recargables (tamaño AA). El tiempo de carga y horas de funcionamiento están determinadas para pilas con una capacidad nominal de 2000 mAh.

3.1.1 Características Principales

- Conformidad con la Normativa IEC 61000-4-30 Clase A.
- Tarjeta de Memoria microSD hasta de 32 Gb.
- 4 canales de Tensión con una amplia escala de medición, hasta 1000 Vrms con soporte para sistemas de Alta y Media tensión.
- Muestreo simultáneo de tensión y corriente (8 canales), conversión AD de 16 bit para una medición de potencia precisa y un error mínimo de desplazamiento de fase.
- Cumple con las normativas EC 61557-12 y IEEE 1459 (potencia combinada, fundamental, y no fundamental), IEC 62053-21 (Energía), IEEE 519.



- Pantalla TFT a color de 4,3 pulgadas.
- Registro de formas de onda/corrientes de arranque, que pueden dispararse mediante eventos o alarmas y ejecutarse de manera simultánea junto con un registro general.
- Herramientas de diagnóstico potentes: registro de sobretensiones transitorias con disparo de envolvente y nivel.
- El software para PC PowerView v3.0 es una parte integral del sistema de medición que ofrece el modo más fácil de descargar, visualizar y analizar los datos de medición, o para imprimirlos.
 - El analizador PowerView v3.0 incluye una interfaz sencilla pero potente para descargar los datos del instrumento y analizarlos de forma rápida, intuitiva y descriptiva. La organización de la interfaz permite una rápida selección de los datos utilizando la vista de árbol de modo similar al Explorador de Windows.
 - El usuario puede descargar fácilmente los datos registrados y organizarlos en múltiples emplazamientos con muchos sub-emplazamientos o posiciones.
 - Genere diagramas, tablas y gráficas para analizar los datos de calidad de la energía, y cree informes impresos profesionales.
 - Exporte o copie/pegue los datos en otras aplicaciones (p.e. hojas de cálculo) para su posterior análisis.
 - Se pueden mostrar y analizar simultáneamente varios registros de datos.
 - Combine diferentes datos en una única medición, sincronice los datos registrados con diferentes instrumentos con desfases de tiempo, divida los datos del registro en múltiples mediciones o extraiga datos de interés.
 - Acceso remoto al instrumento a través de internet.

3.1.2 Descripción del Analizador



Figura 3.1.2 Vista frontal del Equipo

1. LCD Pantalla a color TFT, de 4,3 pulgadas, 480 x 272 píxeles.
2. F1 – F4 Teclas de función.
3. Teclas de FLECHA Mueve el cursor y selecciona los parámetros.
4. Tecla de ENTER Entra en el submenú.
5. Tecla de ESC Sale del procedimiento activo, confirma la configuración seleccionada.
6. Teclas de ATAJO Acceso rápido a las principales funciones del dispositivo.
7. Tecla de LUZ Regular la intensidad de la retroiluminación del LCD: alta/baja/apagada (APAGAR PITIDO) Si presiona la tecla de LUZ más de 1,5 segundos, se deshabilita la señal acústica. Pulse y mantenga para habilitarlo.
8. Tecla de ON-OFF Enciende/Apaga el dispositivo.
9. TAPA Protector de los puertos de comunicación y ranura de la tarjeta microSD

3.1.3 Panel de Conexiones

- Panel Superior

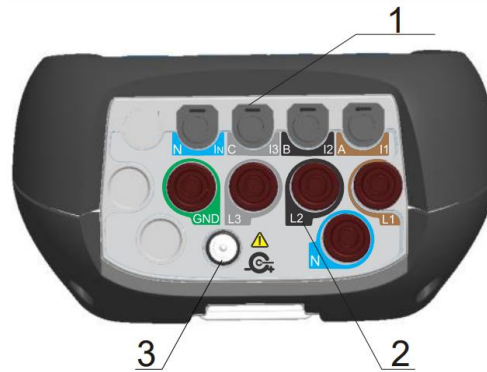


Figura 3.1.3 (a) Vista superior del Equipo

1. Terminales de entrada de los transformadores de corriente de pinza (I1, I2, I3, IN).
2. Terminales de entrada de tensión (L1, L2, L3, N, GND).
3. Toma de alimentación de 12V.

- Panel de Conexión Lateral

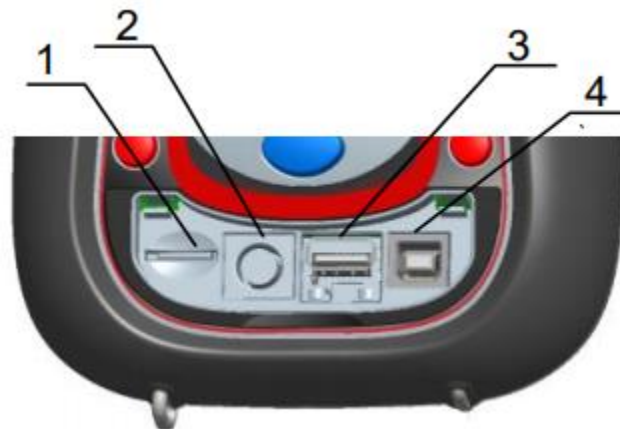


Figura 3.1.3 (b) Vista Inferior

1. Ranura de tarjeta microSD.
2. Conector serial GPS.
3. Conector Ethernet.
4. Conector USB.

3.1.4 Accesorios

Descripción	Piezas
Pinza de corriente flexible 3000 A / 300 A / 30 A (A 1227)	4
Sonda de temperatura (A 1354)	1
Sonda de prueba con código de color	5
Pinza de cocodrilo con código de color	5
Puntas de prueba de tensión con código de color	5
Cable USB	1
Cable RS232	1
Cable Ethernet	1
Adaptador de corriente de 12 V / 1.2 A	1
Pila recargable NiMh, tipo HR 6 (AA)	6
Bolsa de transporte blanda	1
Compact disc (CD) con PowerView v3.0 y manuales	1

Tabla 3.1.4 Accesorios Incluidos

3.2 Pantalla y teclas del Dispositivo

A continuación, se muestra el estado del dispositivo y la especificación de los símbolos en pantalla. Así como el uso de su teclado.

3.2.1 Barra de Estado del Dispositivo

Barra de estado del dispositivo está situada en la parte superior de la pantalla. Indica los diferentes estados del dispositivo. La descripción de los iconos se muestra en la tabla a continuación



Figura 3.2.1 Vista superior de la pantalla



	Indica la carga de la batería.
	Indica que el cargador está conectado al dispositivo. Las baterías se cargarán automáticamente cuando el cargador esté conectado.
	El dispositivo está bloqueado
	Convertidor CA sobre rango. La tensión nominal seleccionada o el rango de pinzas de corriente es demasiado pequeño. La tensión nominal seleccionada o el rango de pinzas de corriente es demasiado pequeño.
09:19	Hora actual.
<u>Estado del módulo GPS</u>	
	Módulo GPS detectado pero devuelve datos de hora y posición incorrectas.
(Buscando satélites o señal de satélite demasiado débil).	
	Hora GPS válida - señal de hora de satélite GPS válida.
<u>Estado de conexión a Internet</u>	
	La conexión a Internet no está disponible.
	El dispositivo está conectado a Internet y listo para la comunicación.
	El dispositivo está conectado a PowerView.
<u>Estado del registrador:</u>	
	El registrador general está activo, esperando al disparador.
	El registrador general está activo y registrando.
	El registrador de forma de onda está activo, esperando al disparador.
	El registrador de forma de onda está activo y registrando.
	El registrador de transitorias está activo, esperando al disparador.
	El registrador de transitorias está activo y registrando.
	Recuperación de la lista de memoria. La pantalla mostrada está recuperada de la memoria del dispositivo.
	Marca de datos señalados. Cuando observe datos registrados, esta marca le indicará que los resultados de medición para el intervalo de tiempo que observa pueden estar comprometidos debido a la existencia de una interrupción, caída o sobretensión.
	Hay tensión de señalización en la línea de tensión en las frecuencias que está supervisando.
	Modo de comunicación con lápiz USB. En este modo el registro seleccionado puede transferirse desde la tarjeta microSD al lápiz USB. La comunicación USB con el PC está desactivada en este modo.

3.2.2 Teclas del Dispositivo

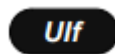
Esta sección está dividida en cuatro subgrupos

- Teclas de función:



Sirven para varias funciones. Su función en cada momento se muestra en la parte inferior de la pantalla y depende de la función seleccionada en el dispositivo.

- Teclas de atajo:



Muestra la pantalla de medidor de UIF desde el submenú MEASUREMENT.



Muestra la pantalla de medidor de Potencia desde el submenú MEASUREMENT.



Muestra la pantalla de medidor de Armónicos desde el submenú MEASUREMENT.



Muestra la pantalla de configuración de conexión desde el submenú MEASUREMENT SETUP. / Mantenga pulsada la tecla durante 2 segundos para activar la FORMA DE ONDA INSTANTÁNEA (WAVEFORM SNAPSHOT).



Muestra la pantalla de diagrama de fase desde el submenú MEASUREMENT



- Teclas para cambiar el menú/zoom: Cursores, Enter y Esc.



Selecciona el submenú.



Entra en el submenú seleccionado.

- Otras teclas: Teclas de encendido/apagado de luz y dispositivo.



Regular la intensidad de la retroiluminación (alta/baja/apagada). Mantenga la tecla durante 2 s. para habilitar/deshabilitar las señales acústicas.



Enciende/apaga el dispositivo. Mantenga pulsada la tecla durante 5 segundos para reiniciar el instrumento, en caso de fallo.



3.3 Parámetros medidos por el equipo para realizar el Estudio de la Calidad en la Energía Eléctrica.

- Tensión de línea a neutro (VL-N).
- Tensión de línea a línea (VL-L).
- Corriente R.M.S. (A R.M.S.).
- Distorsión armónica total de tensión (THD U).
- Distorsión armónica total de corriente (THD I).
- Desbalance de tensión (UNB U).
- Desbalance de corriente (UNB I).
- Flicker de corta duración (Pst).
- Flicker de larga duración (Plt).
- Potencias totales (P,Q,S).
- Factor de potencia (F.P.).

3.4 Configuración del Equipo

Tipo de conexión	Trifásica 5 hilos 2½ Element: V3 inutilizado
Sensores	A193 AmpFlex (6500 A)
Cálculo de valores reactivos Q (var) o N (var)	N: Combinado (con los armónicos)
Distorsión armónica de la fase	Valor de la fundamental como referencia (%f)
Flicker de larga duración (Plt)	Ventana deslizante
Factor K del transformador	$q = 1.7$ e $e = 0.10$
Relación de las corrientes	1:1
Ratio de las tensiones entre fase y neutro	1:1
Agregación	5 min
Medidas $V\phi\text{-}\phi$ guardadas	CF, rms, THDr, THDf, DC, pk+, pk-
Medidas $V\phi\text{-}N$ guardadas	CF, Pst, Plt, rms, THDr, THDf, unb (u2), DC, pk+, pk-
Medidas A guardadas	CF, FHL, rms, THDr, THDf, unb (u2), FK, DC, pk+, pk-
Otras medidas guardadas	Cos ϕ (DPF), Hz, PF, Tan ϕ , S (VA), Q (var), P (W), P DC (W)
Armónicos $V\phi\text{-}N$ guardados	0 - 50
Armónicos A guardados	0 - 50
Armónicos S (VA) guardados	0 - 50



3.5 Normatividad aplicada en el Equipo de medición

- *EN 61010-1: 2010* Requisitos de seguridad para equipos eléctricos para mediciones, control y uso en laboratorio – Parte 1: Requisitos generales.
- *EN 61010-2-030: 2010* Requisitos de seguridad para equipos eléctricos para mediciones, control y uso en laboratorio – Parte 2-030: Requisitos particulares para prueba y medición de circuitos
- *EN 61010-031: 2002 + A1: 2008* Requisitos de seguridad para equipos eléctricos para mediciones, control y uso en laboratorio – Parte 031: Requisitos de seguridad para sondas manuales portátiles para pruebas y mediciones eléctricas.
- *EN 61010-2-032: 2012* Requisitos de seguridad para equipos eléctricos para mediciones, control y uso en laboratorio. Parte 031: Requisitos de seguridad para sondas manuales portátiles para pruebas y mediciones eléctricas.
- *IEC 61000-4-30: Clase de 2015 A Parte 4-30:* Técnicas de prueba y medición – Métodos de medición de la calidad de la energía.
- *IEC 61557-12: 2007* Equipo para prueba, medición o control de medidas de protección– Parte 12: Dispositivos supervisión y medición del rendimiento (PMD).
- *IEC 61000-4-7: 2002 + A1: 2008 Parte 4-7:* Técnicas de prueba y medición – Guía general relativa a las mediciones e instrumentación de armónicos e Inter armónicos para sistemas de alimentación y equipos conectados a ellos.
- *IEC 61000-4-15: 2010 Parte 4-15:* Técnicas de prueba y medición –Medidor de flicker –Especificaciones funcionales y de diseño



- *IEC 62053-21: 2003 Parte 21: Contador estático para energía activa (Clase 1)*
- *IEC 62053-23: 2003 Parte 23: Contador estático para energía reactiva (Clase 2)*
- *IEEE 1459: 2010* Definiciones de normativa IEEE para la medición de cantidades de energía eléctrica bajo condiciones sinusoidales, no sinusoidales, equilibradas o desequilibradas.
- *EN 50160: 2010* Características de la tensión de la electricidad suministrada por redes eléctricas públicas.
- *GOST R 54149: 2010* Energía eléctrica. Compatibilidad electromagnética de equipos técnicos. Límites de calidad de la energía en sistemas de suministro de energía públicos.

3.6 Normatividad aplicada en el Análisis de Calidad de Energía Eléctrica

I. *IEEE std. 519 Límites Armónicos Aplicados a Sistemas de Potencia.*

a. Distorsión Armónica en Tensión

Table 1—Voltage distortion limits

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5 ^a

Tabla 3.6 (a) Límites de Distorsión Armónica en Tensión



b. Distorsión Armónica en Corriente

Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Tabla 3.6 (b) Límites de Distorsión Armónica en Corriente

II. CFE L0000-45 Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica.

a. Flicker

TABLA 1 - Límites de variaciones de tensión

Indicador	Límite
Pst	≤ 1
Plt	$\leq 0,65$

Tabla 3.6 (c) Límite en Pst y Plt

b. Distorsión Armónica Total de Tensión

TABLA 2 - Límites máximos de distorsión armónica total en tensión y de CAIMT en el punto de acometida

Tensión kV	Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %	Distorsión armónica total de tensión (DATT) %
Menor de 1	6	8
de 1 a 35	5	6,5
Mayor de 35	2	3

Tabla 3.6 (d) Límite de Distorsión Armónica Total en Tensión



c. Distorsión Armónica Total en Corriente

TABLA 3 - Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV

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) < 1 000	12	5,5	5	2	1	15
(lcc / IL) ≥ 1 000	15	7	6	2,5	1,4	20

NOTAS:

- 1) En el caso de armónicas pares los límites se reducen al 25 % de los correspondientes a armónicas impares.
- 2) Los límites mostrados en la tabla 3 deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50 %.
- 3) En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.

Tabla 3.6 (e) Limite de Distorsión Armónica Total en Corriente

d. Desbalance de Tensión

TABLA 6 - Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida

Tensión kV	Desbalance %
Menor de 1	3
Mayor o igual de 1	2

Tabla 3.6 (f) Limite de Desbalance de Tensión

e. Desbalance de Corriente

TABLA 7 - Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida

Impedancia relativa (lcc / IL)	Desbalance %		
	Menor a 1 kV	De 1 kV a 35 kV	Mayor a 35 kV
(lcc / IL) < 20	5	2,5	2,5
20 ≤ (lcc / IL) < 50	8	4	3
50 ≤ (lcc / IL) < 100	12	6	3,75
100 ≤ (lcc / IL) < 1000	15	7,5	4
(lcc / IL) ≥ 1 000	20	10	5

Tabla 3.6 (g) Limite de Desbalance de Corriente



- En cuanto a la Potencia, no existe alguna norma que marque límites para esta en cuanto a Calidad de Energía

4. Características del centro de carga en media tensión.

4.1 Media Tensión

La Red Eléctrica Nacional se ha desarrollado tomando en cuenta magnitud y dispersión geográfica de demanda, así como la localización de las centrales generadoras.

Si bien es cierto, el consumo de electricidad en mayor parte está alejado de las centrales generadoras lo que propicia una caída de tensión por medio de los conductores que la transportan, por lo que la interconexión se ha ido realizando de manera gradual. Por lo que el SEN está constituido por redes eléctricas en diferentes niveles de tensión.

- a) *La red troncal* se integra por líneas de transmisión y subestaciones de potencia a muy alta tensión (400 kV y 230 kV 3 Φ), que transportan grandes cantidades de energía entre regiones. Es alimentada por las centrales generadoras y abastece al sistema de subtransmisión, así como a las instalaciones en 400 kV y 230 kV de algunos usuarios industriales. Actualmente CFE cuenta con 47,010 km de estas líneas.
- b) *Las redes de subtransmisión en alta tensión* (entre 161 kV y 69 kV 3 Φ) tienen una cobertura regional. Suministran energía a las de distribución en media tensión y a cargas conectadas en esos voltajes. En la actualidad en CFE existen 47,348 km de estas Líneas.
- c) *Las redes de distribución en media tensión* (entre 60 kV y 2.4 kV 3 Φ) distribuyen la energía dentro de zonas geográficas relativamente pequeñas y la entregan a aquellas en baja tensión y a instalaciones conectadas en este rango de



voltaje, cuya longitud total en CFE es de 369,683 km, los cuales incluyen 16,626 km de líneas subterráneas.

d) *Las redes de distribución en baja tensión (240 V ó 220 V 3Φ) alimentan las cargas de los usuarios de bajo consumo. CFE cuenta con 236,635 km de líneas en estos voltajes.*

A continuación, se muestra un mapa de la República Mexicana donde se puede observar los distintos niveles de tensión manejados por el SEN alrededor de todo el Territorio Nacional hasta el 2011.

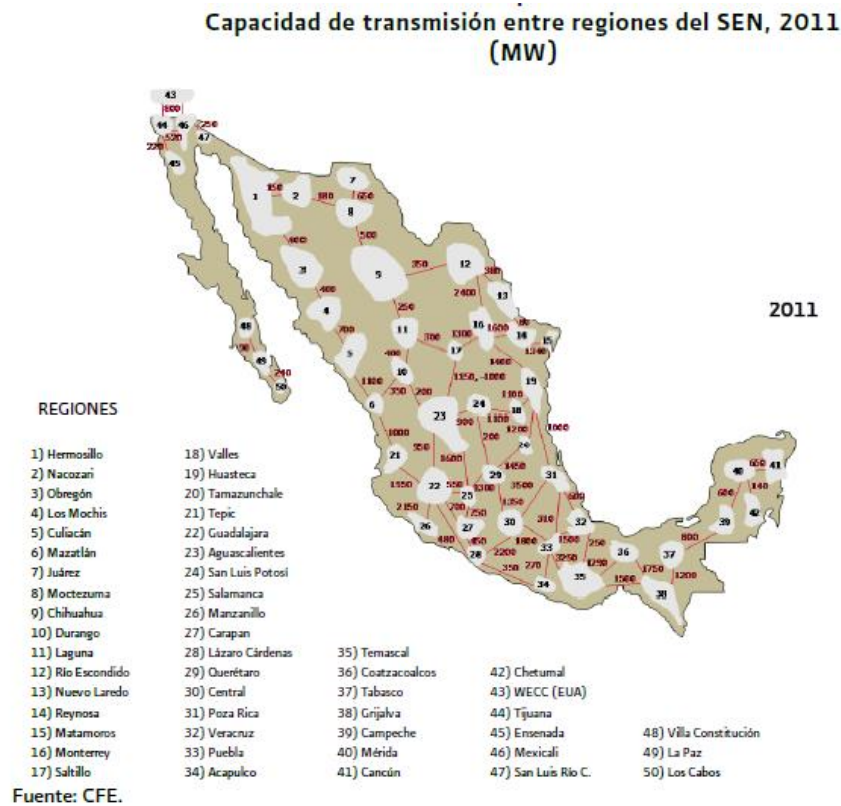


Figura 4.1 Transmisión entre regiones del SEN, 2011

Para efectos de este proyecto en particular, nos enfocaremos al inciso C) debido a que es una distribución en media tensión por el intervalo que maneja.

4.2 Centros de Carga

Se Clasifican por los tipos de servicios en los que se emplea la energía eléctrica, por lo tanto, depende del tipo de consumidor y sus necesidades.

Es necesario tomar en cuenta factores importantes que pueden o no modificar un sistema como lo son *la diversidad de carga y el Consumo por unidad de área*.

Debido a esto, se ha optado por dividir los centros de carga en una manera muy sencilla de diferenciarlos:

- a) Residencial (1Φ)
 - Urbana - Suburbana
 - Rural
- b) Comercial ($3\Phi / 1\Phi$)
 - Áreas céntricas
 - Centros comerciales
 - Edificios comerciales
- c) Industrial (3Φ)
 - Plantas pequeñas
 - Plantas grandes

Así pues, están basados en el tipo, importancia y características específicas de las cargas instaladas, situándonos en el caso de *Industrias en Plantas pequeñas* debido al tipo de alimentación que demanda nuestro centro de carga, donde posteriormente se describirán los detalles de este.

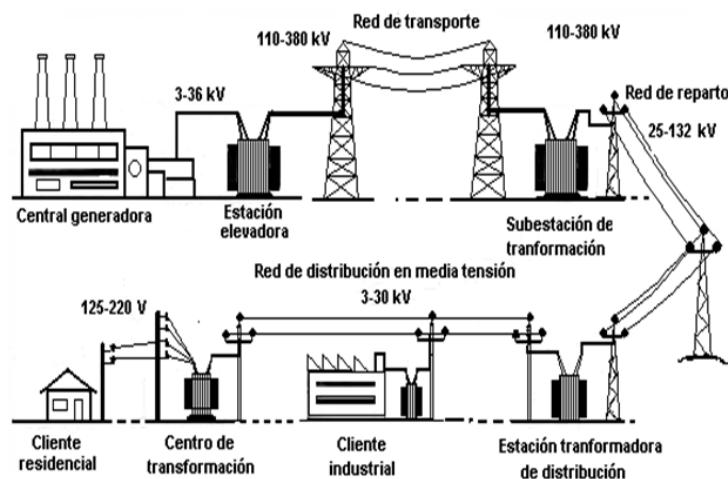


Imagen 4.2 Sistema de Generación, Transmisión, Distribución y Consumo



4.3 Lugares donde se realizó el muestreo dentro del Centro de Carga.

Dentro del complejo ubicado en Tlaxcala, en que se realizaron las pruebas, se tomó la decisión de dejar aparatos de medición instrumentados en tres lugares específicos:

- Acometida de C.F.E
- TR-SUB1
- TR-SUB2

Debido a que en la Acometida de C.F.E no se cuenta con las condiciones adecuadas (TC's y TP's, Relevadores entre otros propios del complejo) no se llevó a cabo la medición en este punto.

Siendo como los dos únicos puntos de estudios los transformadores TR-01 y TR-02 debido a tener conectados en ellos las cargas más significativas del Centro de Carga. A continuación, se describen a detalle los puntos necesarios para el estudio en cuestión.

4.4 Datos del suministro emitido por C.F.E. al Centro de Carga en Media Tensión.

En este punto es necesario recurrir a C.F.E para obtener el valor real donde se conecta nuestro centro de carga.

En este particular se necesitaron los datos para saber a qué nivel de tensión se encuentra conectado, así como su Potencia de corto circuito para posteriormente realizar su *Análisis de Calidad de Energía Eléctrica*. Arrojando la siguiente información.

Circuito	Voltage kV	Impedancia Secuencia Positiva		Impedancia Secuencia Cero		Falla Trifásica			Falla Monofásica		
		R1 (OHMS PRIM)	X1 (OHMS PRIM)	R0 (OHMS PRIM)	X0 (OHMS PRIM)	Potencia C.C. MVA	AMPERES (AMP)	X/R	Potencia C.C. MVA	AMPERES (AMP)	X/R
ATZ- 5260	34.5	5.12285	13.0741	8.36377	56.2033	84.8	1418.5	2.55211	42.3	707.8	4.42524

Tabla 4.4 Datos del Punto de Conexión emitidos por CFE



4.5 Datos recopilados de placa en los transformadores ubicados en el Centro de Carga.

→ TR-SUB1

- ◆ 1500 KvA
- ◆ 34.5 Kv / 0.44 Kv
- ◆ %Z = 5.8
- ◆ X/R = 7.1

→ TR-SUB2

- ◆ 1500 KvA
- ◆ 35.5 Kv / 0.44 Kv
- ◆ %Z = 6.16
- ◆ X/R = 7.1

4.6 Perfil de Demanda en los Transformadores

ID	Potencia Nominal [KVA]	Demanda [Kw]	Perfil de demanda [%]
TR-SUB1	1500	543.9	36.7
TR-SUB2	1500	389.5	27.2

Tabla 4.6 Demanda de Puntos de Medición

4.7 Parámetros Actuales de la Red Eléctrica

	Potencia Activa [kW]	Potencia Reactiva [KVA'r]	Corriente [A]	% F.P. [atraso]
TR-SUB 1	555	567	730.5	98
TR-SUB 2	353	367	472.1	96.1
Punto de Conexión	96.9%			

Tabla 4.7 Parámetros Actuales



4.8 Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente y Tensión

ID	Corriente [A]	THD I [%]	THD U [%]
TR-SUB1	679.5	7.7	2.1
TR-SUB 2	356.6	18.7	3.3

Tabla 4.8 Distorsión Armónica

En la siguiente imagen, se muestra la topología de la red eléctrica de los TR-SUB.

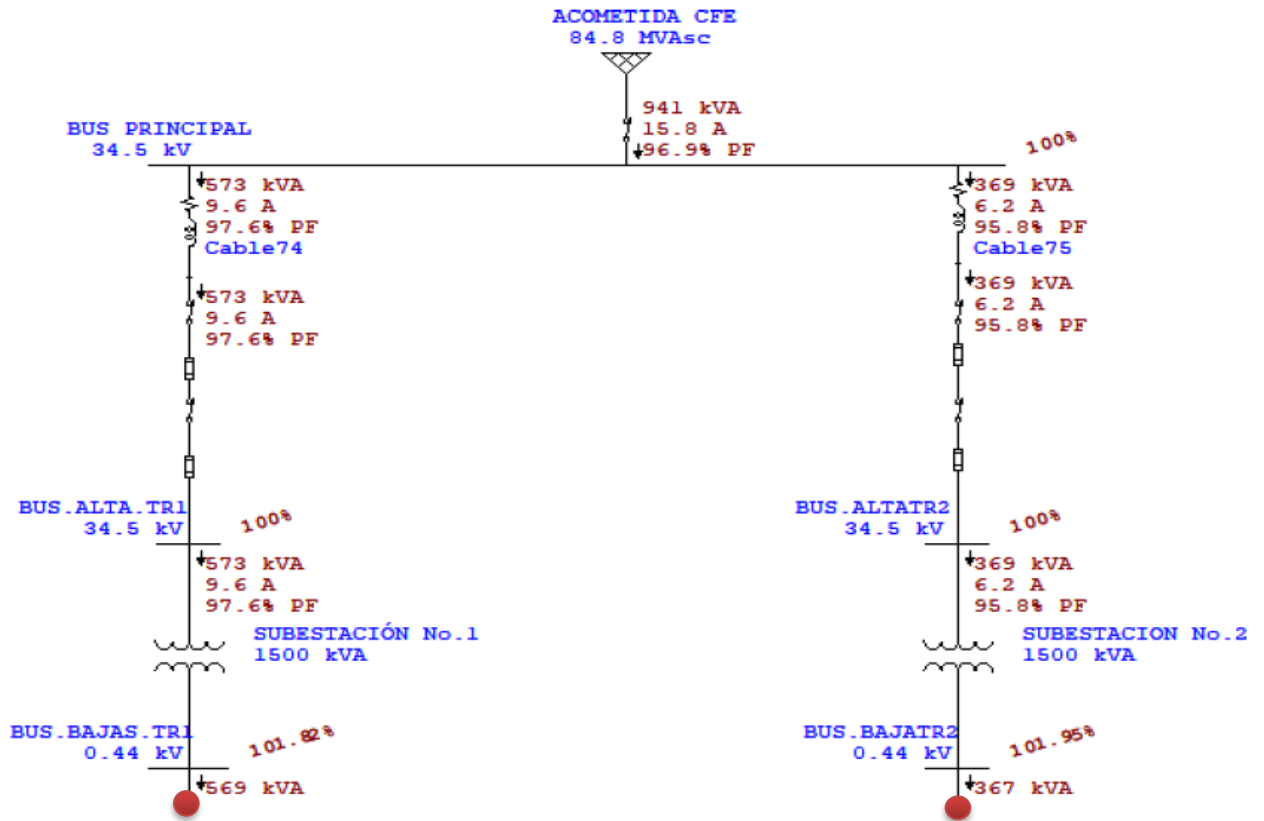


Diagrama 4.5 Diagrama con Parámetros Actuales

● Punto de Monitoreo



5. Parámetros de Calidad de la Energía Eléctrica en el Centro de Carga de Media Tensión

5.1 Intervalos y aspectos a medir del equipo.

El equipo de medición MI 2892 Power Master fue colocado en los transformadores con nombre SUB1 y SUB2, dejándose grabar *por un periodo de siete días* configurándolo *en intervalos de cinco minutos* con el fin de registrar los siguientes parámetros.

- Tensión de línea a neutro (VL-N).
- Tensión de línea a línea (VL-L).
- Corriente R.M.S. (A R.M.S.).
- Distorsión armónica total de tensión (THD U).
- Distorsión armónica total de corriente (THD I).
- Desbalance de tensión (UNB U).
- Desbalance de corriente (UNB I).
- Flicker de corta duración (Pst).
- Flicker de larga duración (Plt).
- Potencias totales (P,Q,S).
- Factor de potencia (F.P.).

Posterior a los días de grabación del equipo, se procedió a desconectar y vaciar la información registrada a la computadora con ayuda del Software PowerView v3.0 mediante el cable de red del equipo, para así lograr una comunicación del Analizador y la PC.



5.2 Resultados del análisis correspondiente de los parámetros registrados

De acuerdo con C.F.E, el centro de carga se encuentra conectado a una línea de 34.5 Kv, proporcionando un valor de Corto Circuito de **1418.5 A** y una Corriente de Carga Máxima siendo el promedio de los últimos 12 meses de la Corriente de Demanda Máxima con un valor de **51.5 A**.

Calculando la impedancia relativa de la siguiente manera:

$$I_{cc}/I_L = 1418.5/51.50 = 27.54$$

La impedancia relativa es utilizada para la obtención del **DATD** (Distorsión Armónica Total de Demanda), de acuerdo con este valor se localiza el punto de referencia en la siguiente tabla extraída de la norma CFE L0000-45 para “Distorsión Armónica en Baja, Media y Alta tensión hasta 69 Kv”.

Impedancia relativa (I_{cc} / I_L)	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares (CAIMC) %					Distorsión armónica total de demanda (DATD) %
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$(I_{cc} / I_L) < 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 \leq (I_{cc} / I_L) < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 \leq (I_{cc} / I_L) < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1\ 000$	12	5,5	5	2	1	15
$(I_{cc} / I_L) \geq 1\ 000$	15	7	6	2,5	1,4	20

Tabla 5.2 (a) .- Tabla 3 – Distorsión Armónica Máxima Permitida Para Baja, Media y Alta Tensión Hasta 69 kV²

Observamos que, en este ejemplo, nuestra impedancia relativa nos arroja un valor entre 20 y 50, por lo que nos situamos en la posición que el límite del **DADT** debe ser del **8%**, valor que será tomado como referencia en **THD I**.

² CFE L0000-45



De acuerdo con la IEEE-std-519-2014; Obtenemos el Límite de *Distorsión Armónico en Voltaje* o también llamado **THD**. Como nuestro centro de carga opera a una tensión de 34.5 Kv, lo posicionamos en los valores entre 1 Kv y 69 Kv arrojándose un **THD U** del **5%**.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5 ^a

Tabla 5.2 (b) .- Table 1 -Voltage Distortion Limits³

De acuerdo con el “Manual Regulatorio de Requerimientos Técnicos para la Conexión Centros de Carga” en su apartado referente a *Requerimientos de Factor de Potencia*, establece que los centros de carga conectados en alta tensión deben tener un factor de potencia (f.p.) de **0.95** en **atraso** durante los primeros 10 años, posterior a este tiempo debe cumplir con un aumento de factor de potencia (f.p.) a **0.97** en **atraso**.

Se hace la mención de este requerimiento debido a que, a pesar de ser un centro de media tensión, es una sugerencia para la mejora no obligatoria para este tipo de centros de carga.

En cuanto al **Desbalance de Corriente (UNB I)** de acuerdo con “Desbalance Máximo Permitido en la Corriente en el Punto de Acometida” corresponde un valor del **4%**.

³ IEEE std. 519 - 2014



De acuerdo con los parámetros mencionados en la Norma CFE L0000-70 en la sección de “Parámetros en la Calidad de la Energía en Tensiones entre los 13.2 Kv y los 34.5 Kv”, establece un **Desbalance de Tensión (UNB U)** del **2%**.

Fenómenos de tensión en estado estable	Tipo	Ventana de medición	Límite	Cliente (porcentaje de cumplimiento)	Periodo de Evaluación
Variación de larga duración	Sobre tensión	10 min	+ 5 % Vnom	95 %	Semanal
	Bajo tensión	10 min	- 7 % Vnom	95 %	Semanal
Desbalance	Tensión	10 min	2 %	95 %	Semanal
Distorsión armónica total	Tensión	10 min	6,5 % (1)	95 %	Semanal
Variación de frecuencia	Alta	10 min	+ 0,5 % (2)	99,5 %	Semanal
	Baja	10 min	- 0,5 % (2)	99,50 %	Semanal
Flicker	Tensión	2 horas	> 25 Hz (1)	100 %	Semanal

Tabla 5.2 (c) .- Tabla 1 – Parametros de Calidad de Energía – Valores Típicos en nodos de Media Tension (13.2 a 34.5 kV)⁴

Las magnitudes para FLICKER DE CORTA DURACIÓN (**Pst**) y FLICKER DE LARGA DURACIÓN (**Plt**) de acuerdo con “Los Límites de Fluctuaciones de Tensión” del Manual Regulatorio de Requerimientos Técnicos Para la Conexión de Centros de Carga.

Pst	≤ 1
Plt	≤ 0.65

Tabla 5.2 (d) Valores máximos permitidos

⁴ CFE L0000-70



5.3 Resumen de los datos analizados

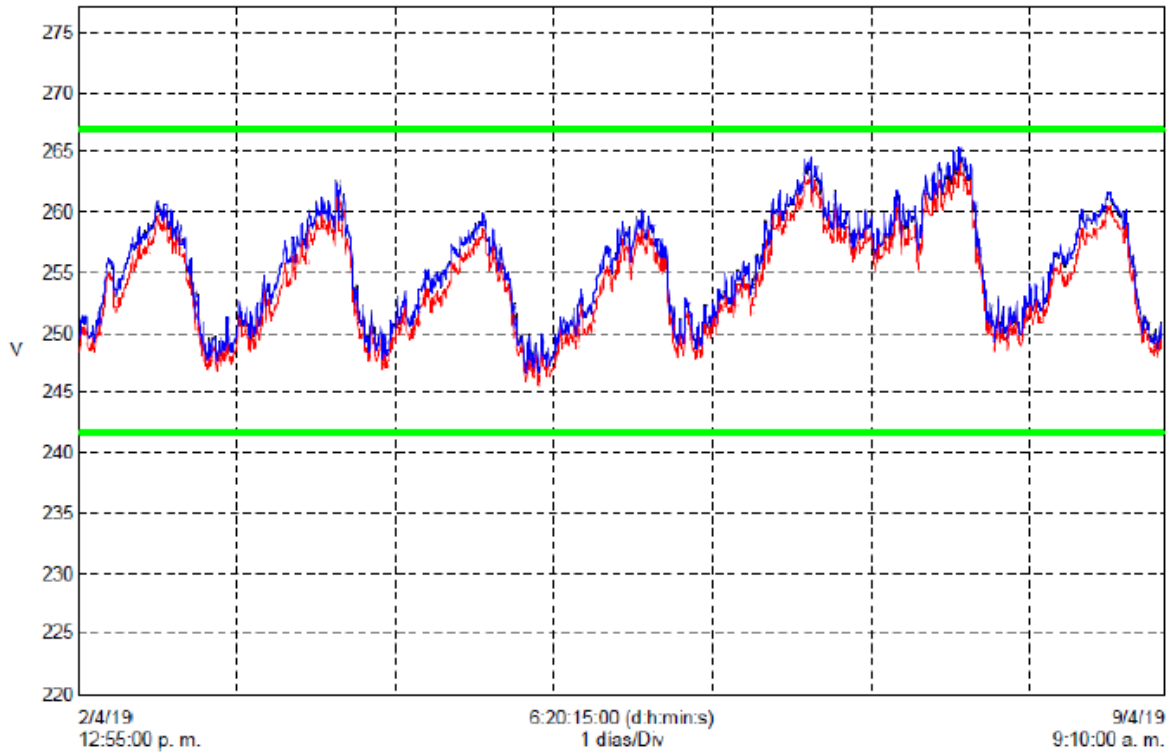
Transformadores	V I-n (\pm 5%)	V I-l (\pm 5%)	ARMS [A]	THD U < 5%	THD I < 8%	UNB U < 2%	UNB I < 4%	Pst \leq 1	Plt \leq 0.65	P [KW]	Q [KVAR]	S[KV A]	F.P. \leq 97%	DEMAND A [%]
TR-SUB 1	255.4	441.1	681	2.1	7.2	0.5	2.5	0.28	0.28	543.9	84.51	550.5	98.0	36.7
TR-SUB 2	254.3	441.0	474	3.3	22	0.5	3.9	0.19	0.28	389.5	121.5	408.1	95.5	27.2

Tabla 5.3 Resumen de los Parámetros Eléctricos



5.4 Gráficas obtenidas en TR-SUB 1

- Tensión de fase (V rms)

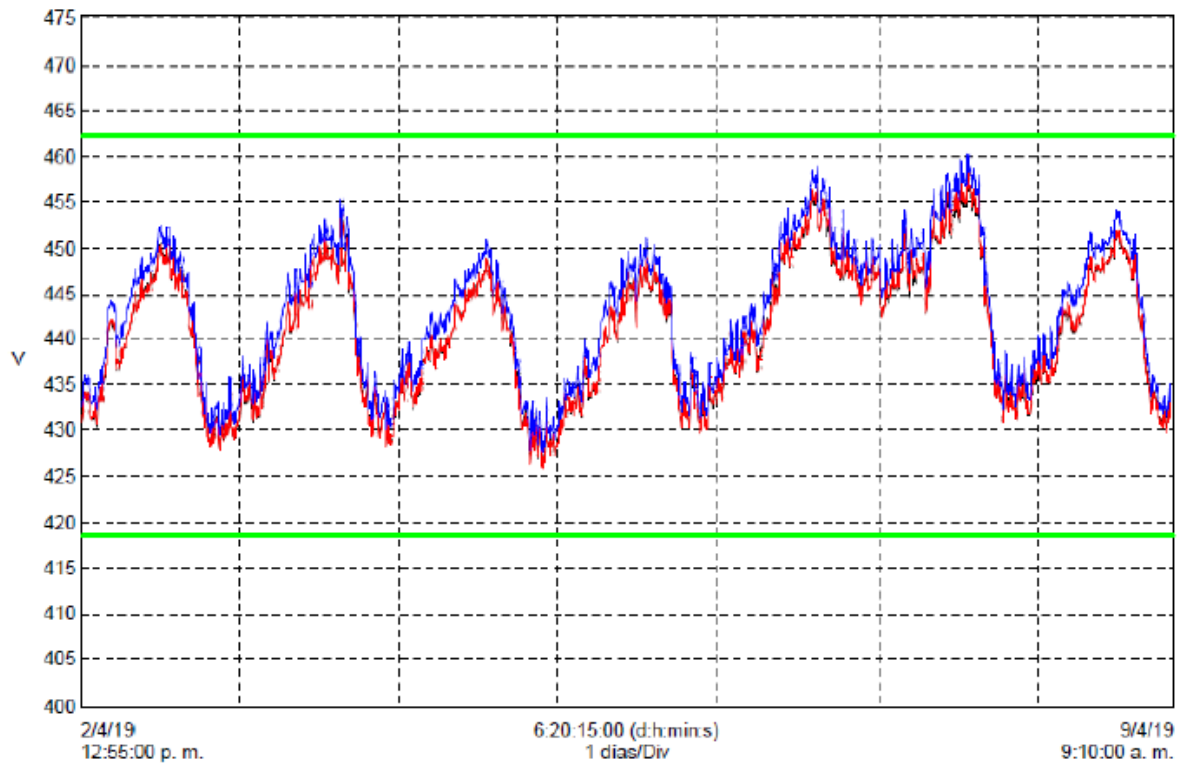


Gráfica 5.4 (a) Tensión de Fase

La tensión de fase registrada durante el periodo de medición se mantuvo oscilando dentro de los límites recomendados de +/- 5%



- Tensión de línea (V rms)

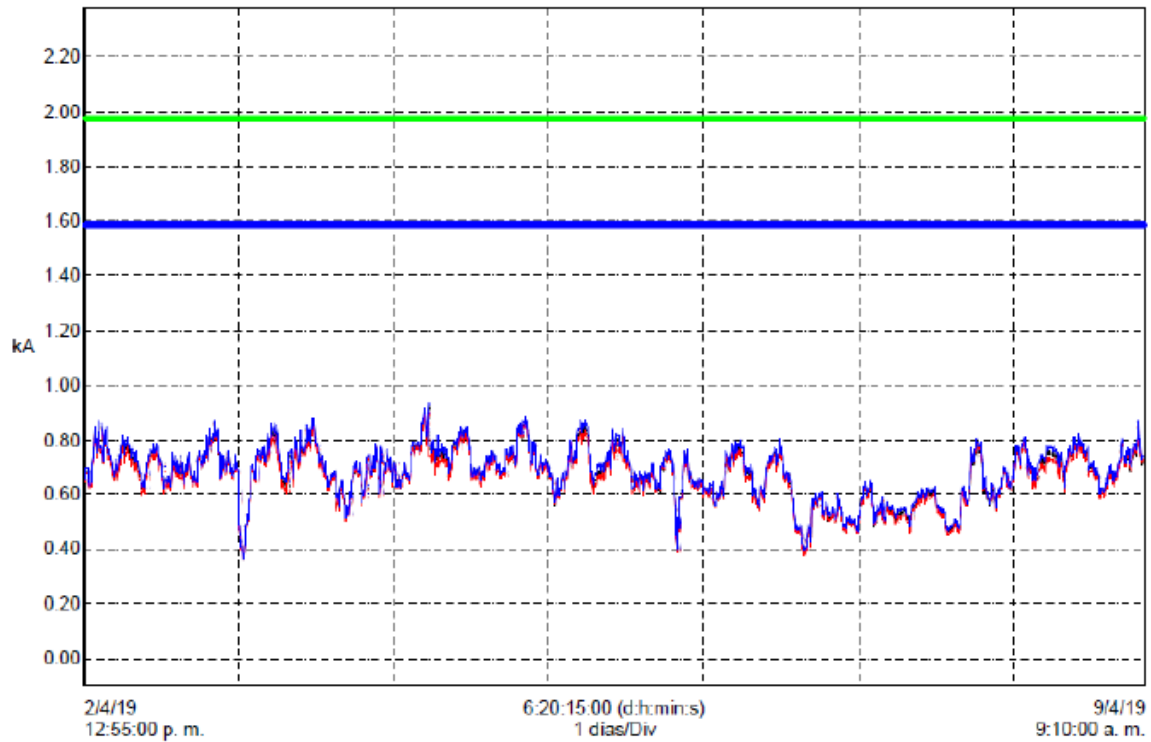


Grafica 5.4 (b) Tensión de Línea

La tensión de línea registrada durante el periodo de medición se mantuvo oscilando dentro de los límites recomendados de +/- 5%



- **Corriente de carga (ARMS)**

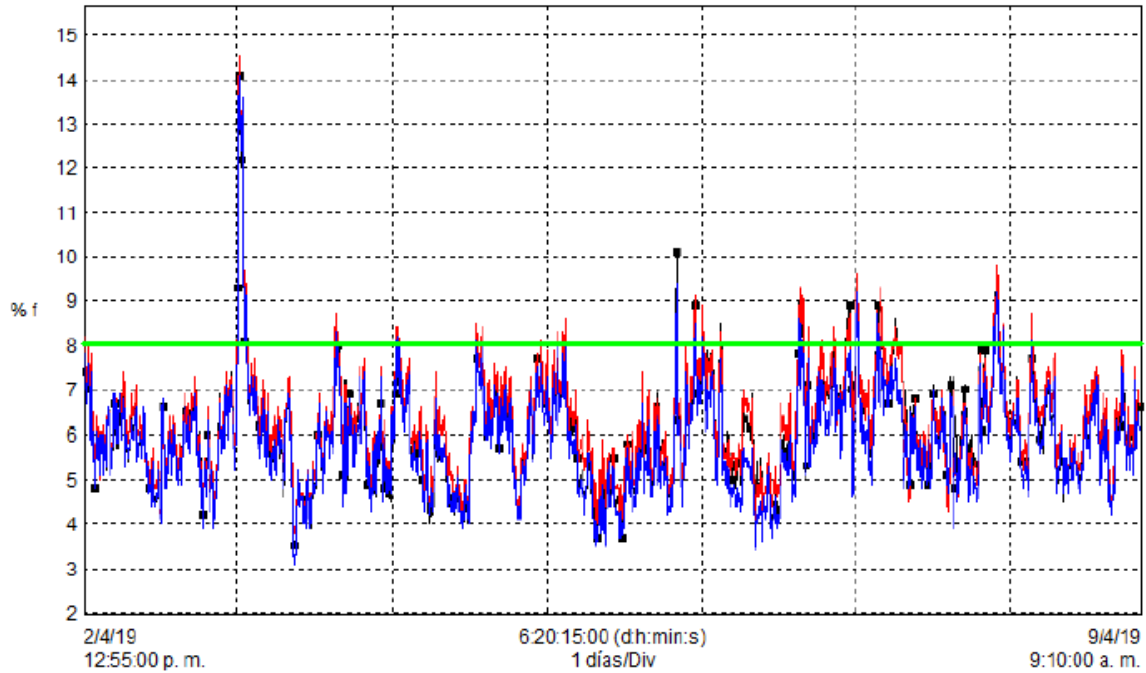


Grafica 5.4 (c) Corriente de Carga

La gráfica de corriente de carga registrada durante el periodo de medición muestra el comportamiento de la carga conectada al transformador.



- **Distorsión Armónica en Corriente THD I**

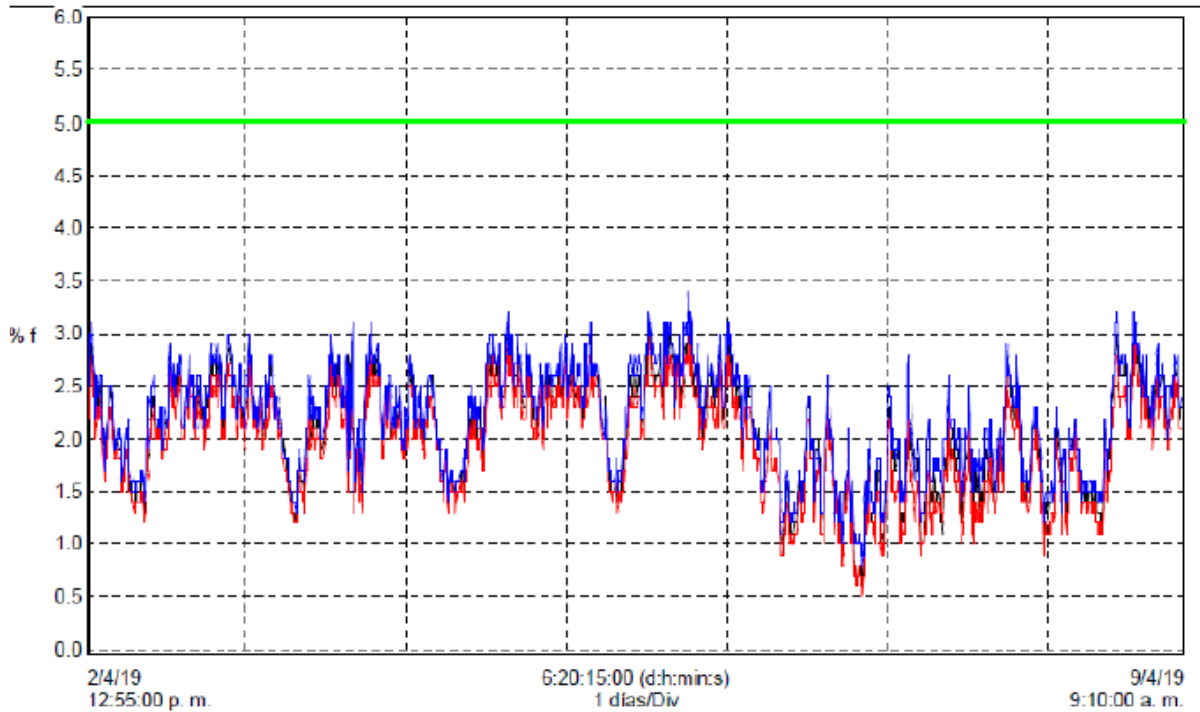


Grafica 5.4 (d) THD I

Se observa que el THD I se encuentra dentro del límite establecido. En la gráfica se observa el comportamiento que se tuvo en el periodo de medición, rebasando el límite en repetidas ocasiones, ya que el límite permitido es del 8%.



- **Distorsión Armónica en Voltaje THD U**

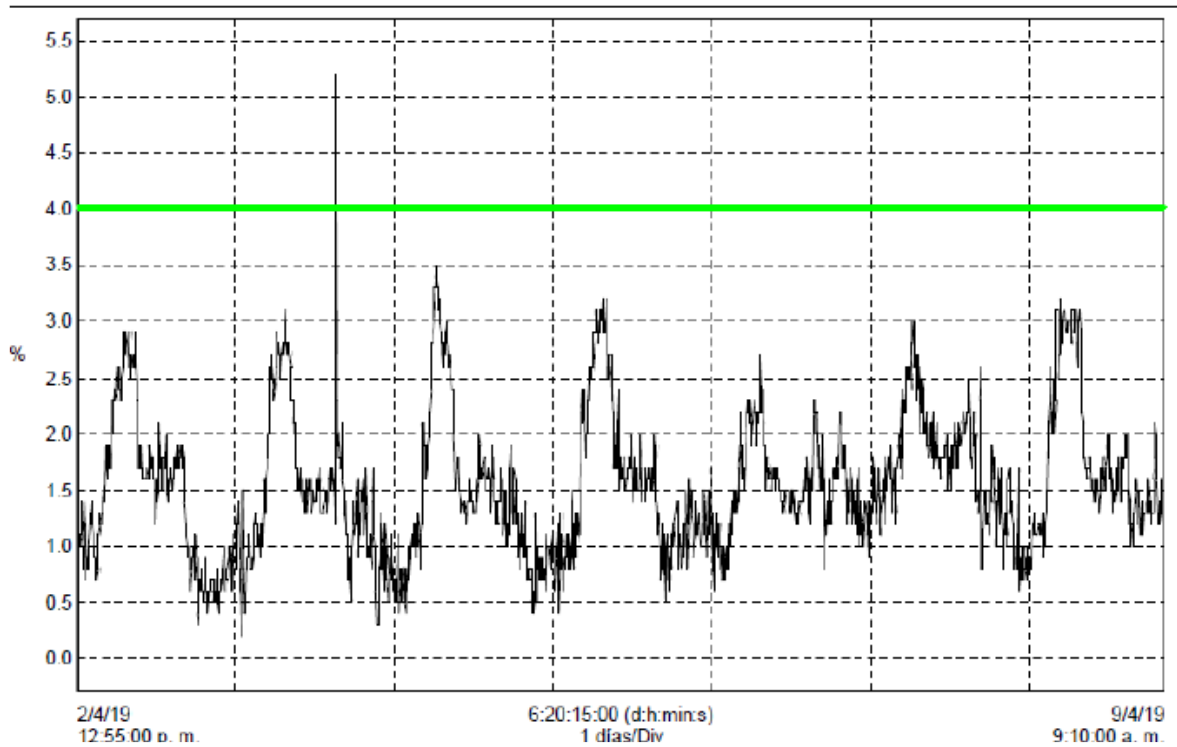


Grafica 5.4 (e) THD U

El total de distorsión armónica en tensión registrado se encuentra dentro de los límites recomendados que es del 5%.



- **Desbalance de Corriente UNB I**

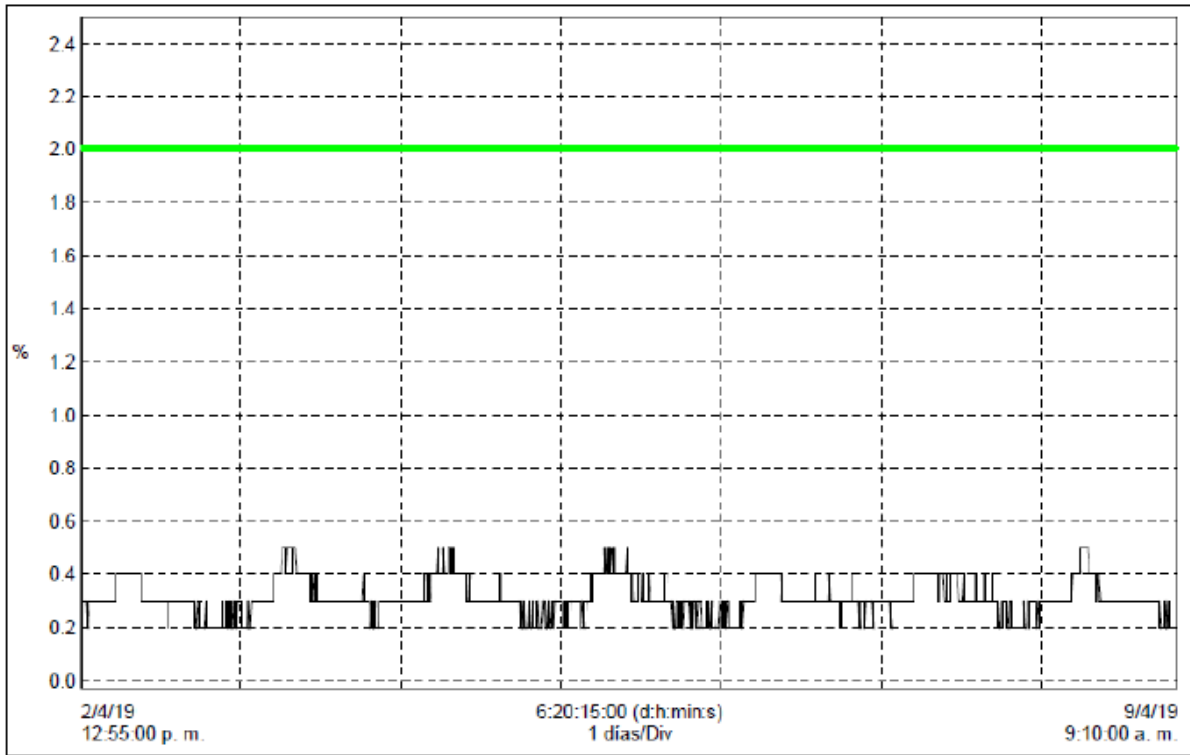


Grafica 5.4 (f) UNB I

El desbalance de Corriente se encuentra dentro del límite permitido siendo del 4%.



- **Desbalance de Voltaje UNB U**

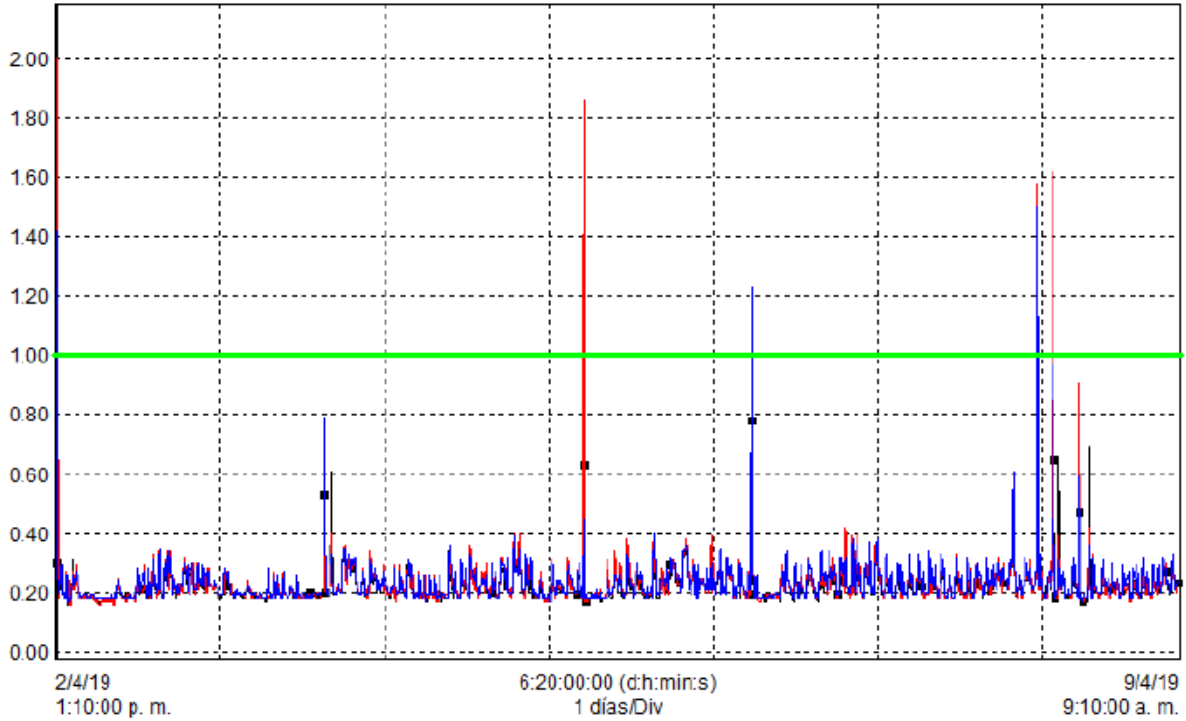


Grafica 5.4 (g) UNB U

El desbalance en la tensión de línea registrado se encuentra dentro del límite permitido (2%).



- **Flicker de Corta Duración Pst**

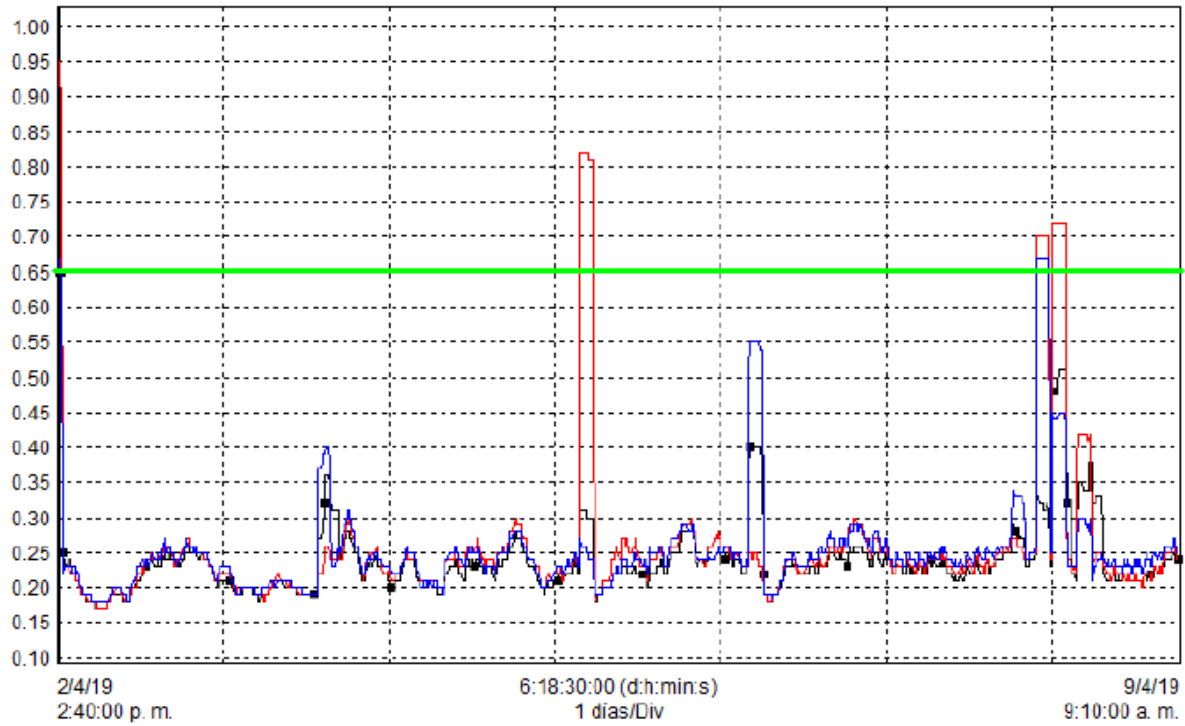


Grafica 5.4 (h) Pst

Las fluctuaciones en tensión se encuentran constantemente dentro del límite permitido siendo este del 1%, sin embargo, algunas fluctuaciones de escasa duración llegan a rebasar el límite por un periodo corto de tiempo.



- Flicker de Larga Duración Plt

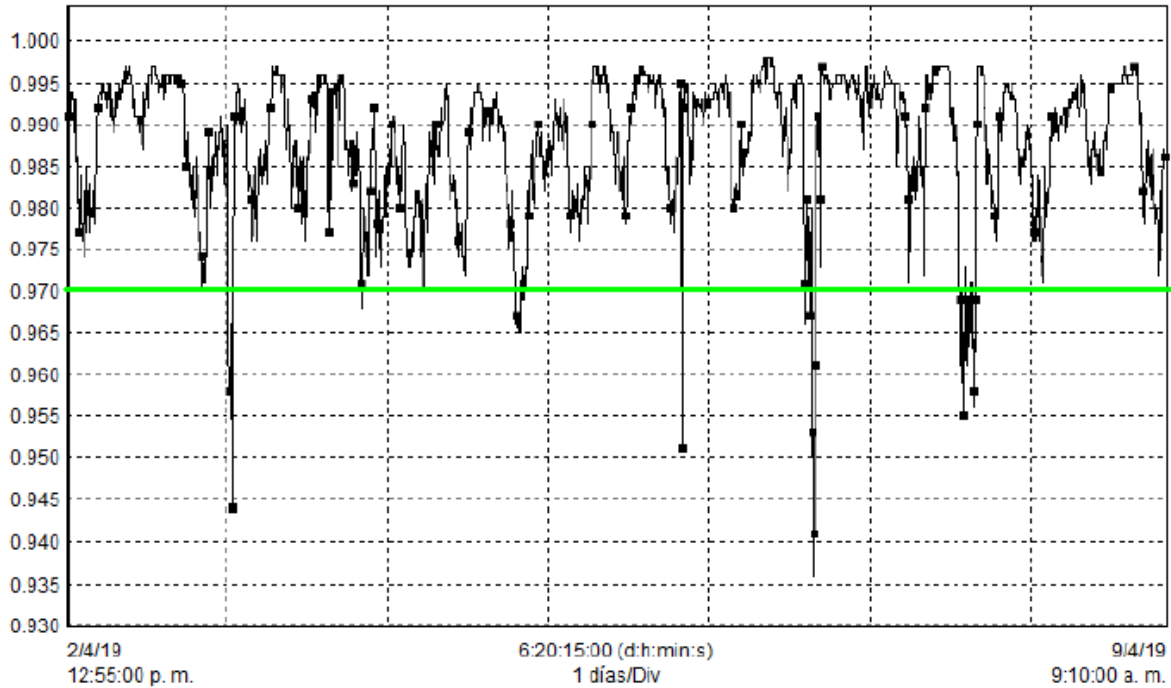


Grafica 5.4 (i) Plt

Las fluctuaciones de tensión de larga duración se encuentran dentro del límite permitido siendo este del 0.65, de forma constante.



- **Factor de Potencia F.P.**

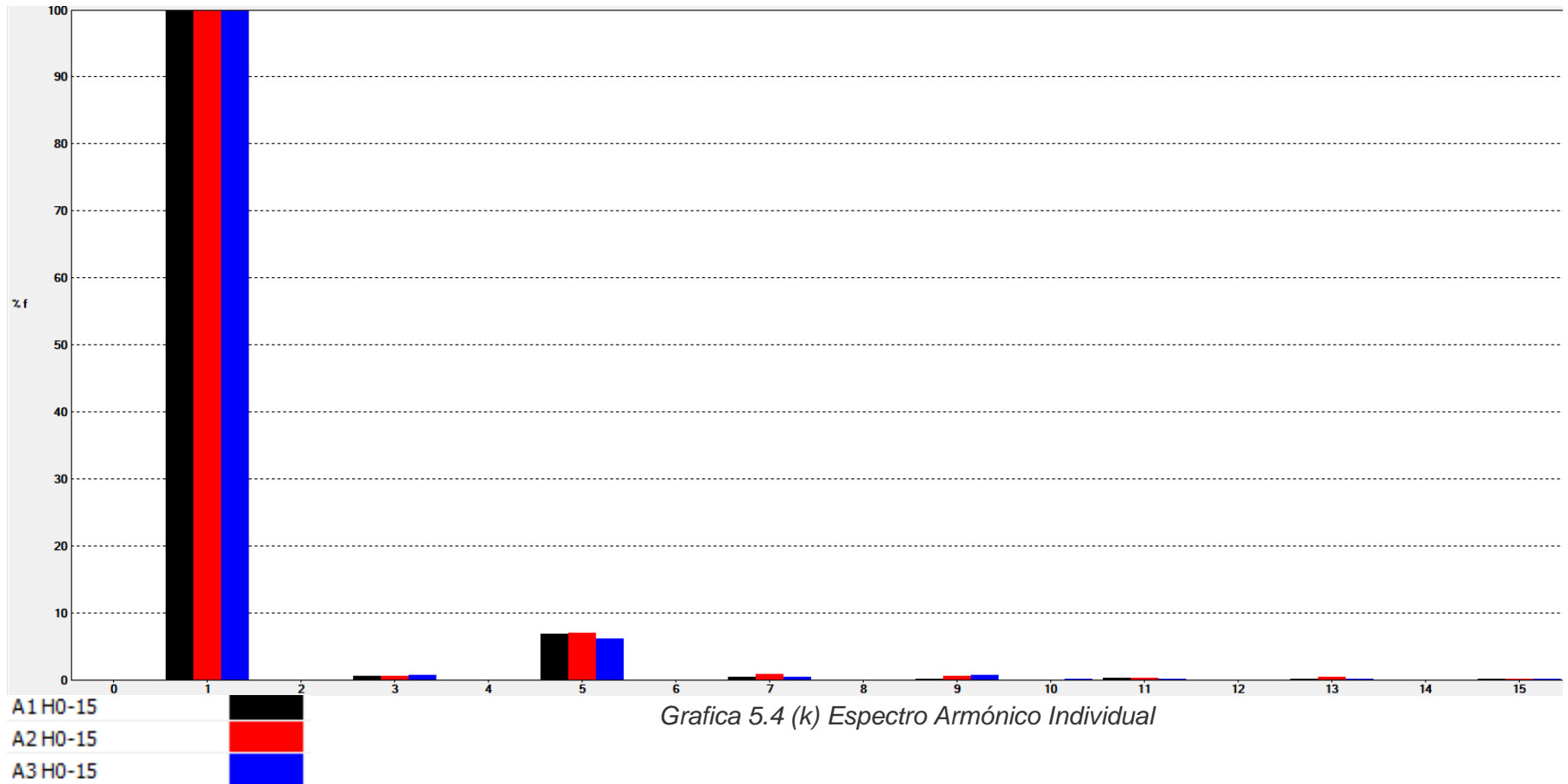


Grafica 5.4 (j) Factor de Potencia

El factor de potencia se mantiene constantemente arriba del 95%, esto gracias al banco de capacitores instalado en el lado de baja tensión (440 V) del transformador. Lo cual no es afectado, ya que por norma debe ser entre 0.95 y 1 en atraso.

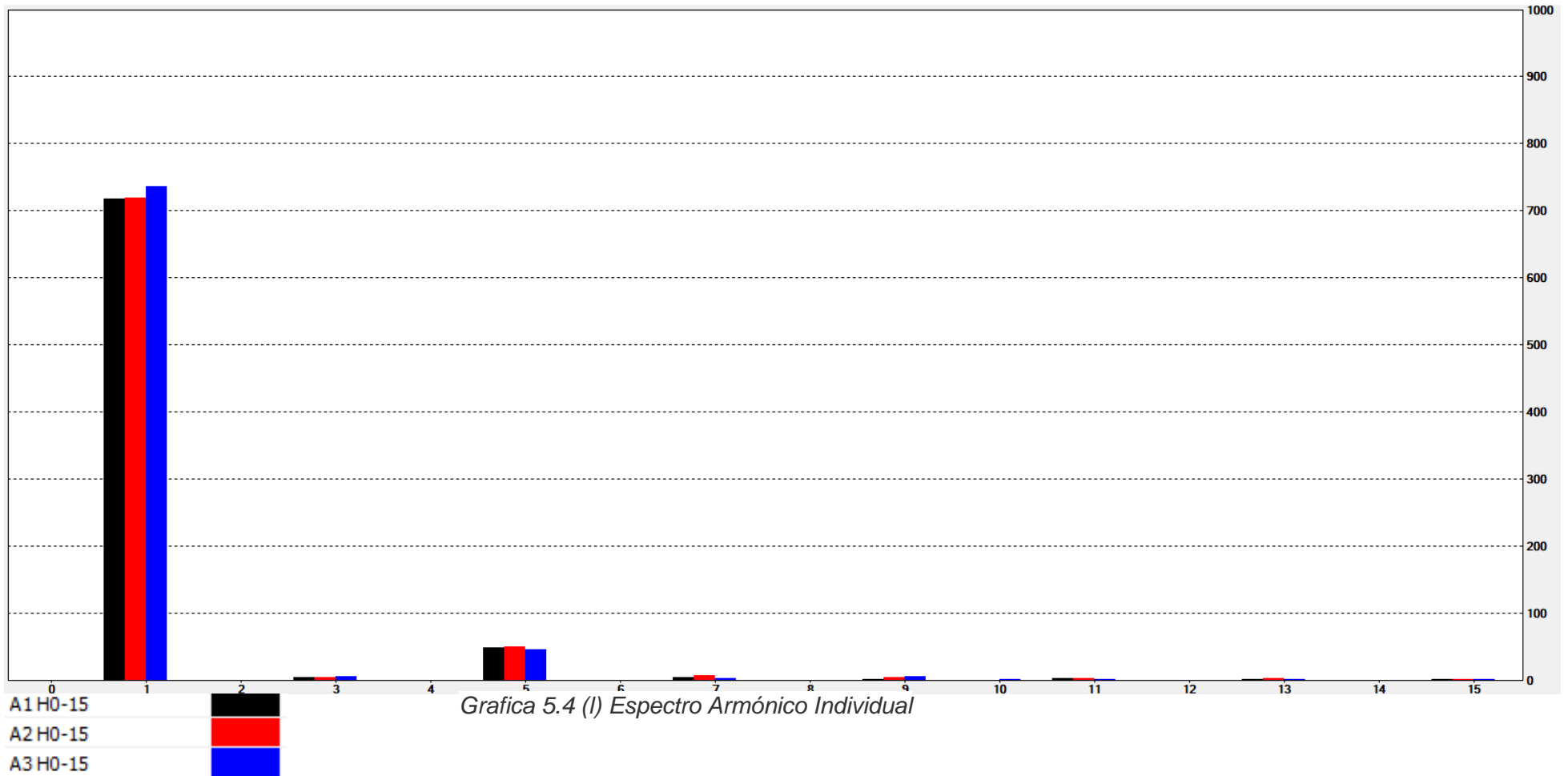


- **Espectro Armónico Individual en Corriente (% respecto a la fundamental)**





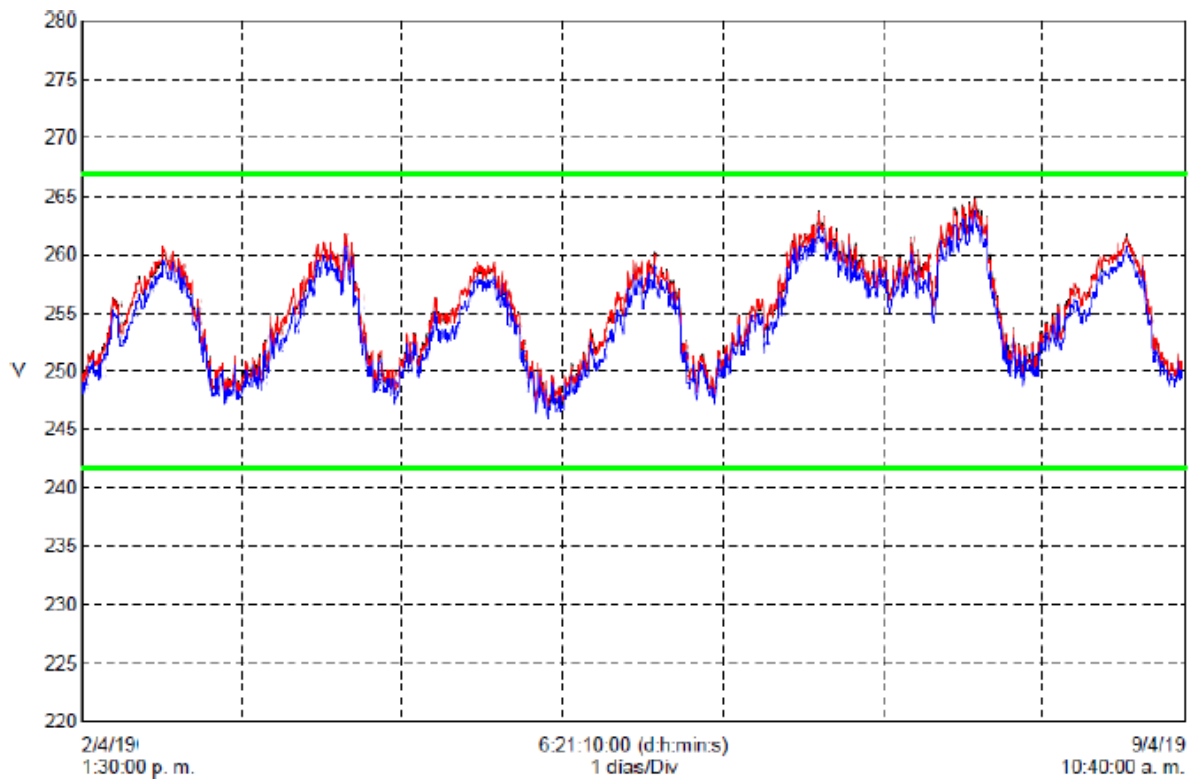
- Espectro Armónico Individual en Corriente (RMS respecto a la fundamental)





5.5 Gráficas obtenidas en TR-SUB 2

- Tensión de Fase (V rms)

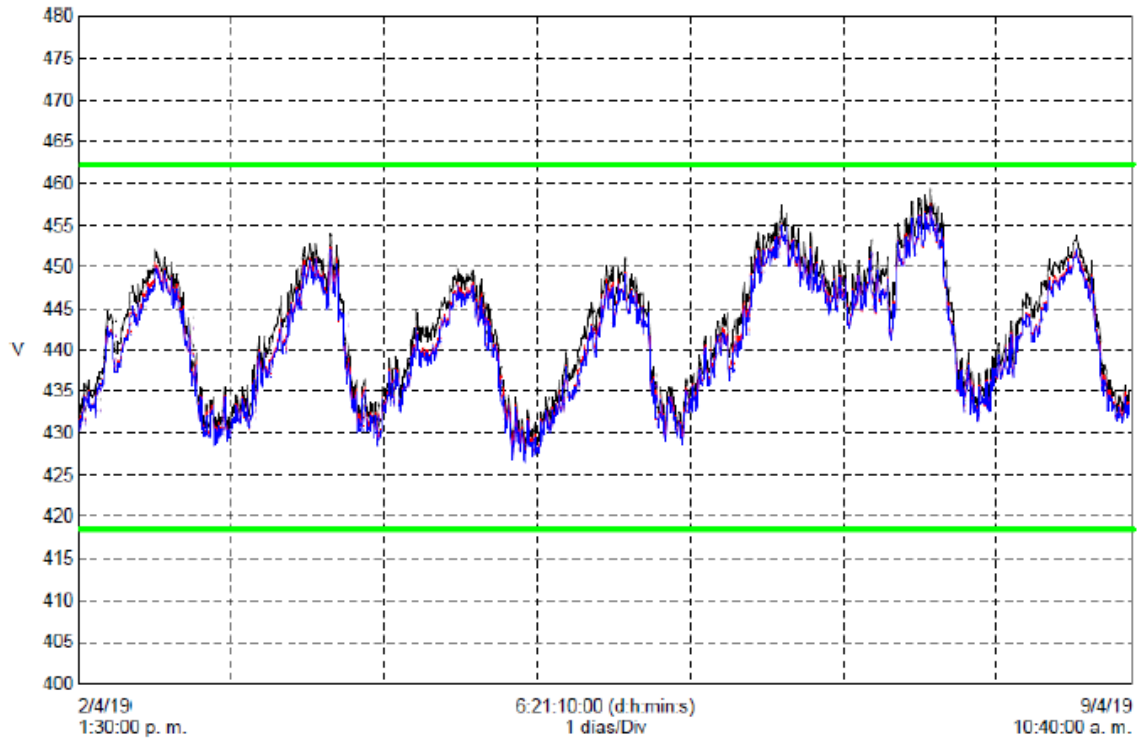


Grafica 5.5 (a) Tensión de Fase

La tensión de fase registrada durante el periodo de medición se mantuvo oscilando dentro de los límites recomendados.



- Tensión de Línea (V rms)

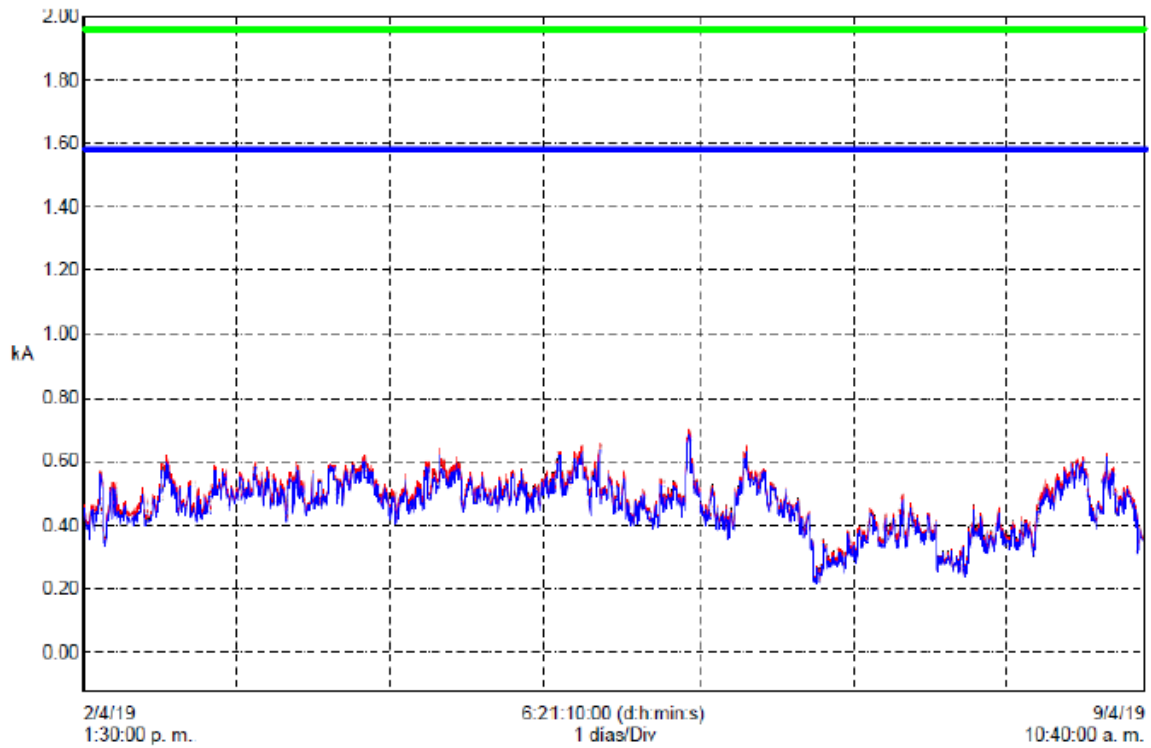


Grafica 5.5 (b) Tensión de Línea

La tensión de fase registrada durante el periodo de medición se mantuvo oscilando dentro de los límites recomendados.



- Corriente de carga (ARMS)

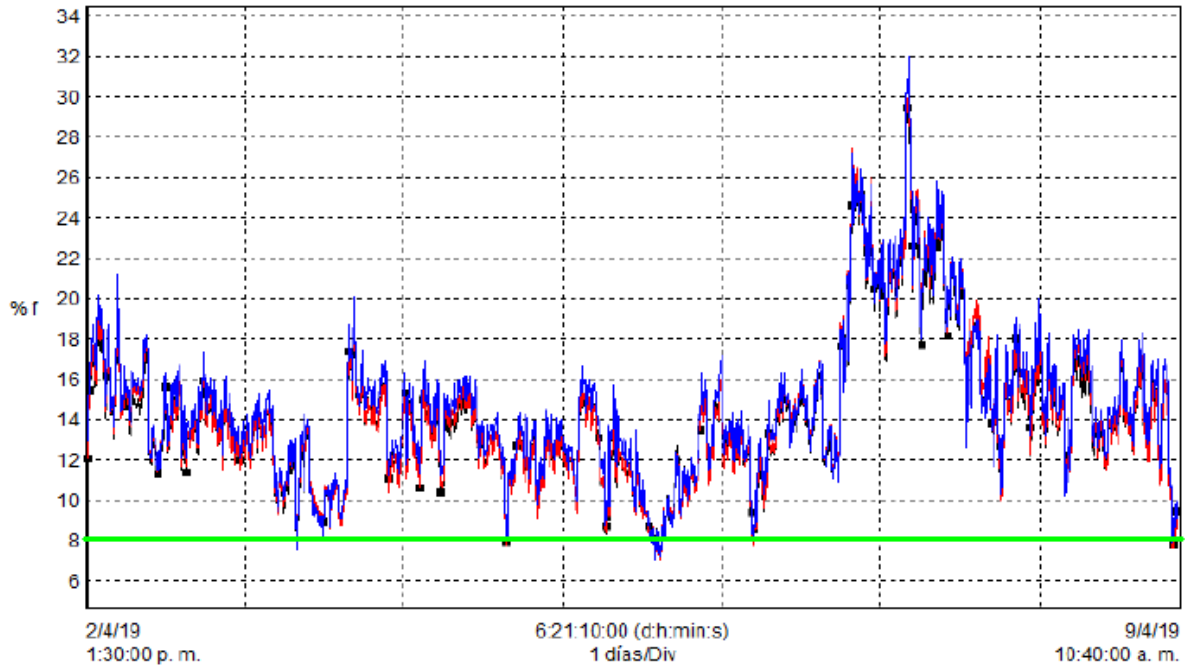


Grafica 5.5 (c) Corriente de Carga

La corriente de carga registrada durante el periodo de medición muestra el comportamiento de la carga conectada al transformador.



- **Distorsión Armónica en Corriente THD I**

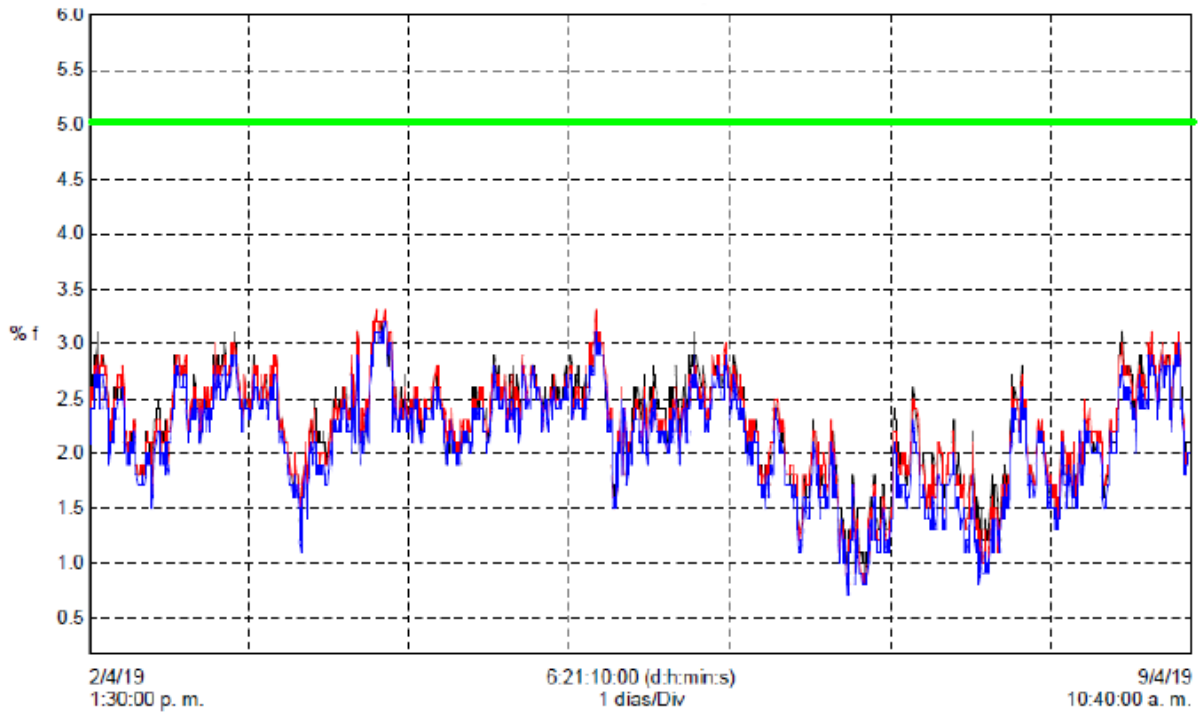


Grafica 5.5 (d) THD I

Se observa que el THD I se encuentra fuera del límite permitido del 8% de forma constante, sin embargo, afectando directamente a la carga del transformador No.2.



- **Distorsión Armónica en Voltaje THD U**

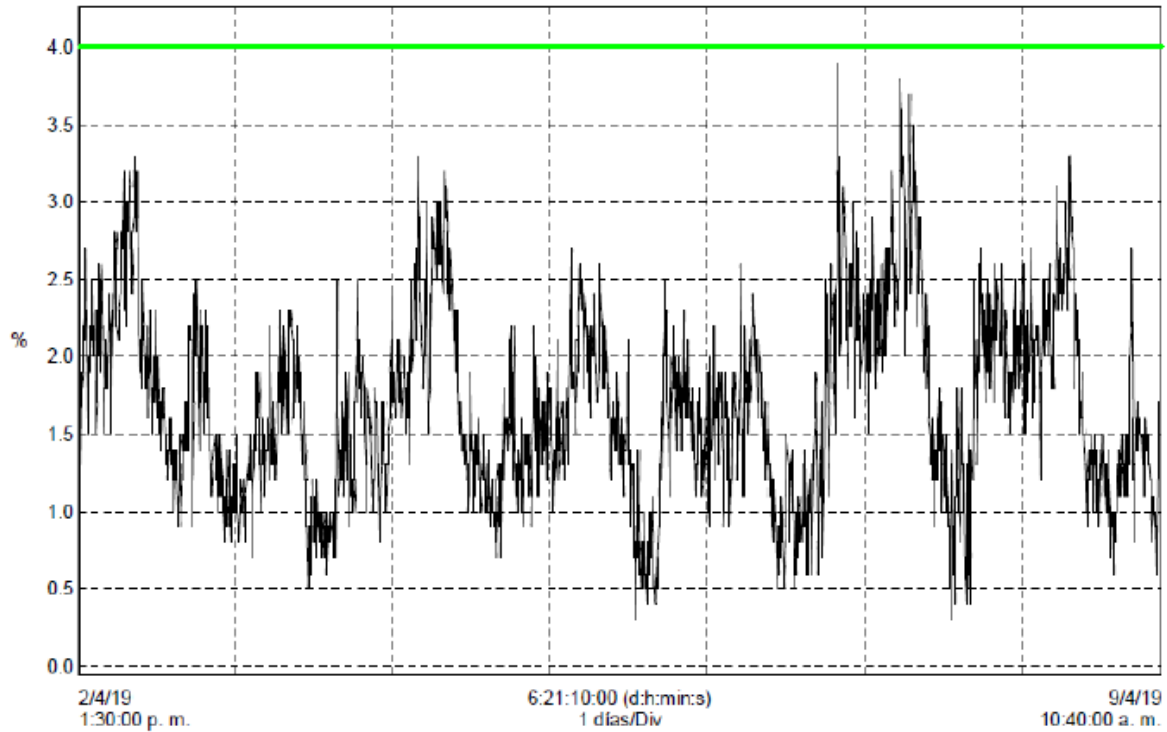


Grafica 5.5 (e) THD U

El total de distorsión armónica en tensión registrado se encuentra dentro de los límites recomendados que es hasta un 5%.



- **Desbalance de Corriente UNB I**

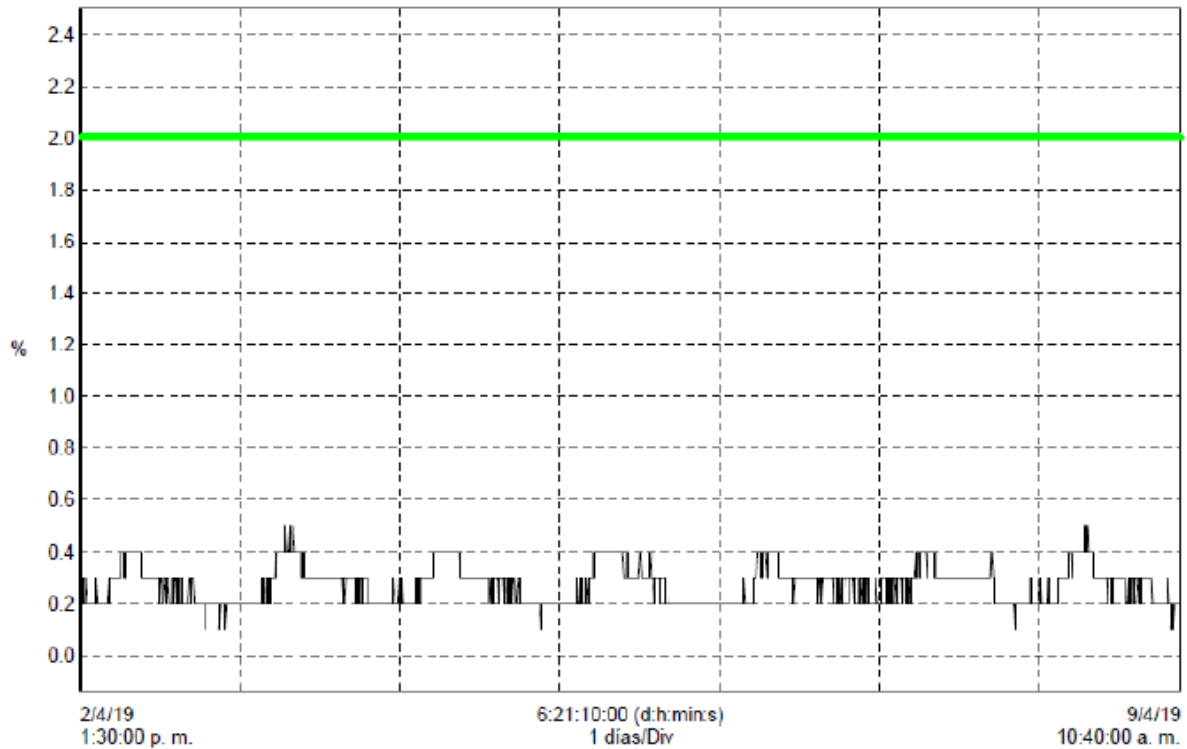


Grafica 5.5 (f) UNB I

El desbalance de Corriente se encuentra dentro del límite permitido que es hasta un 4%.



- **Desbalance de Voltaje UNB U**

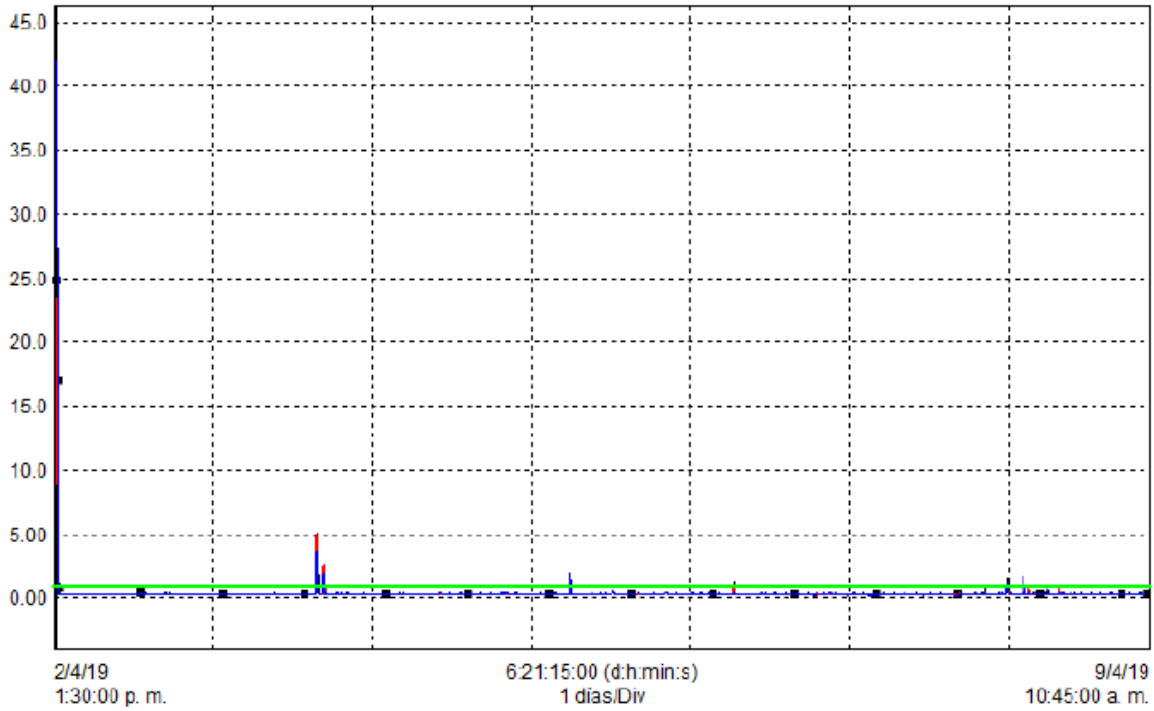


Grafica 5.5 (g) UNB U

El desbalance en la tensión de línea registrado se encuentra dentro de los límites permitidos son del 2%



- Flicker de Corta Duración Pst

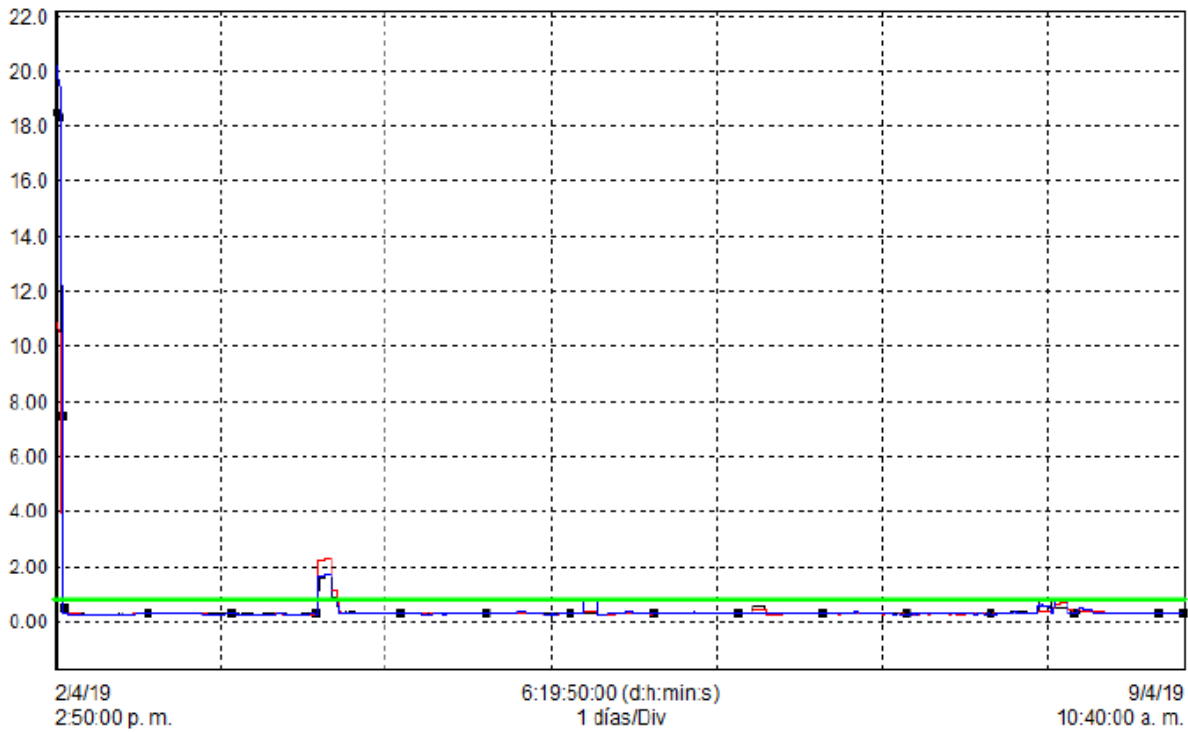


Grafica 5.5 (h) Pst

Las fluctuaciones en tensión se encuentran dentro del límite permitido que es 1.



- Flicker de Larga Duración Plt



Grafica 5.5 (i) Plt

Las fluctuaciones de tensión de larga duración se encuentran dentro del límite permitido que es 0.65.



- Factor de Potencia F.P

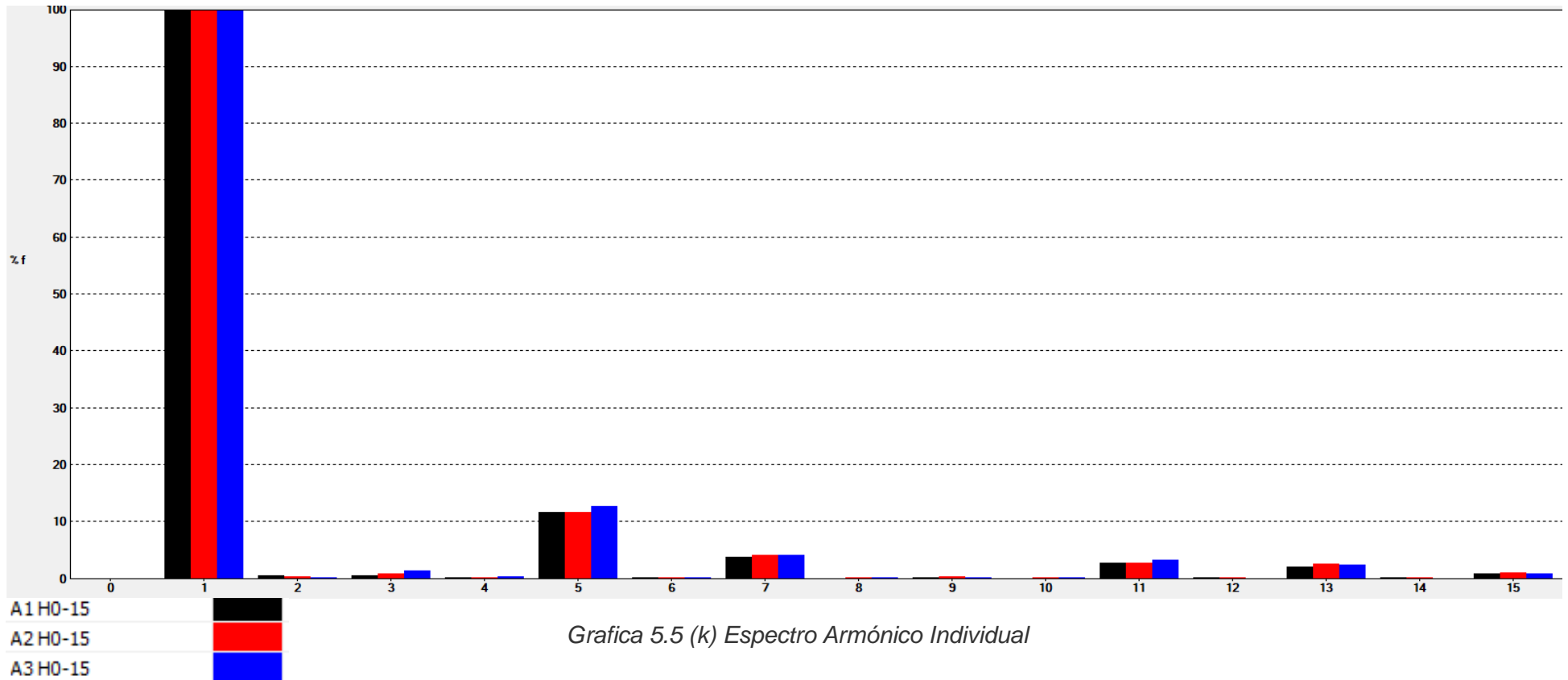


Grafica 5.5 (j) Factor de Potencia

El factor de potencia se mantiene constante en 96%, 97% en atraso, esto gracias al banco de capacitores instalado en el lado de baja tensión (440 V) del transformador, sin embargo, debido al comportamiento de las cargas llega a bajar hasta valores de 95% por periodos de tiempo sumamente cortos que no son significativos.

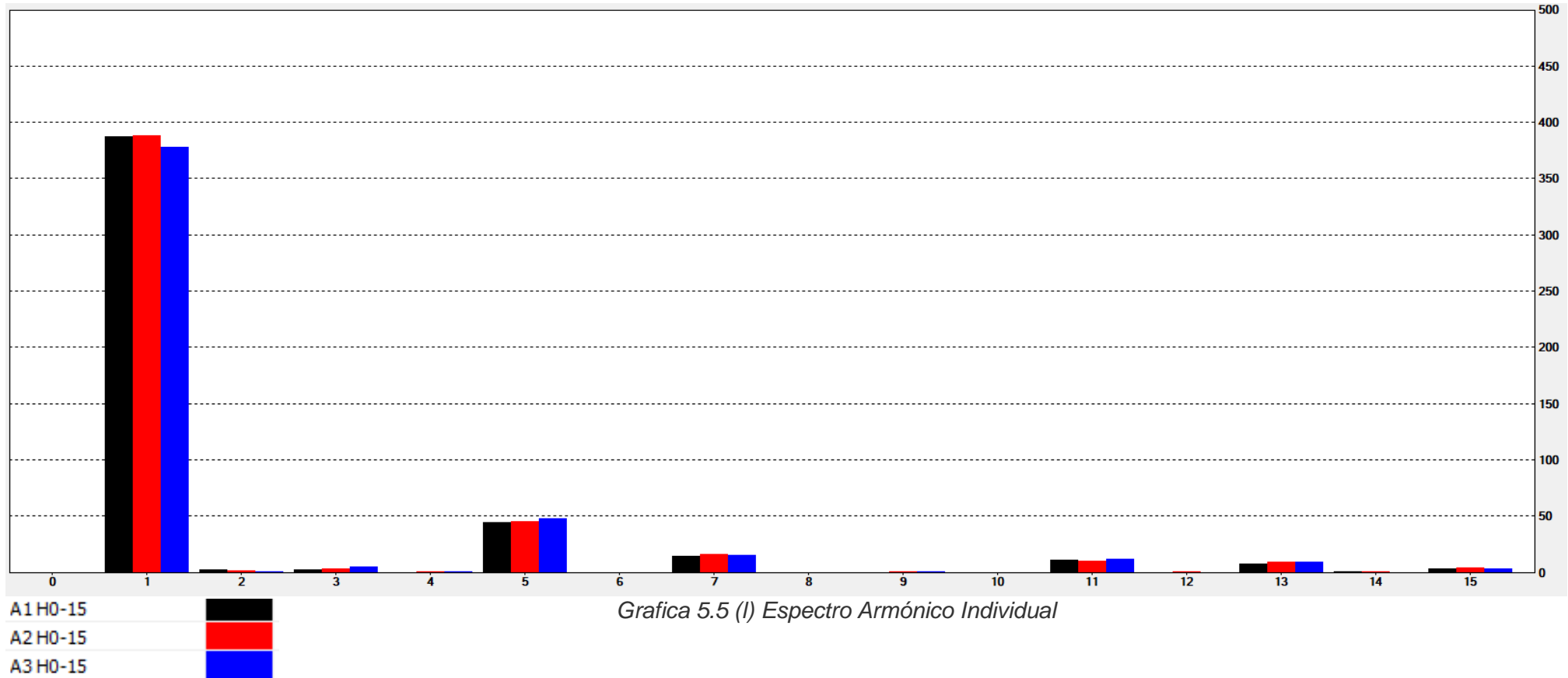


- **Espectro Armónico Individual en Corriente (% respecto a la fundamental)**





- Espectro Armónico Individual en Corriente (RMS respecto a la fundamental)





CONCLUSIONES

- Al analizar los transformadores TR-1 y TR-2 en el nivel de tensión 440 V (Se tomó estos puntos de monitoreo, debido a que el lado primario de los transformadores no cuenta con condiciones para tomarse el monitoreo, es decir, los alimentadores que se encuentran conectados en el lado primario se encuentran de manera subterránea y no se puede tener acceso a ellos) , se observa que el Factor de Potencia (F.P.) es por encima del 0.95 en atraso, esto debido a que cada transformador cuenta con un banco de capacitores automático que compensa el factor de potencia, elevandolo a niveles aceptables de manera constante.
- Cabe mencionar que es recomendable que el Factor de Potencia esté en un valor de 0.97 en atraso, por lo que se propone realizar un Estudio de Flujo de Potencia para así poder aumentar el Factor de Potencia (F.P.).
- No se observa ningún transformador que supere el límite de Distorsión Armónica en Tensión (THD U) que es del 5%
- En el particular de Distorsión Armónica de Corriente (THD I) se tienen problemas en el transformador 2, ya que este supera el límite permitido que es del 8%. Esto es ocasionado por cargas no lineales y para ser corregido se recomienda un Estudio de Flujos de Armónicos.
- Teniendo una buena calidad de energía eléctrica repercute directamente en el costo, pues se evitan cargos adicionales por un mal factor de potencia, un exceso de armónicos en la red, etc. Hasta poder recibir una compensación por tener una buena calidad de energía.

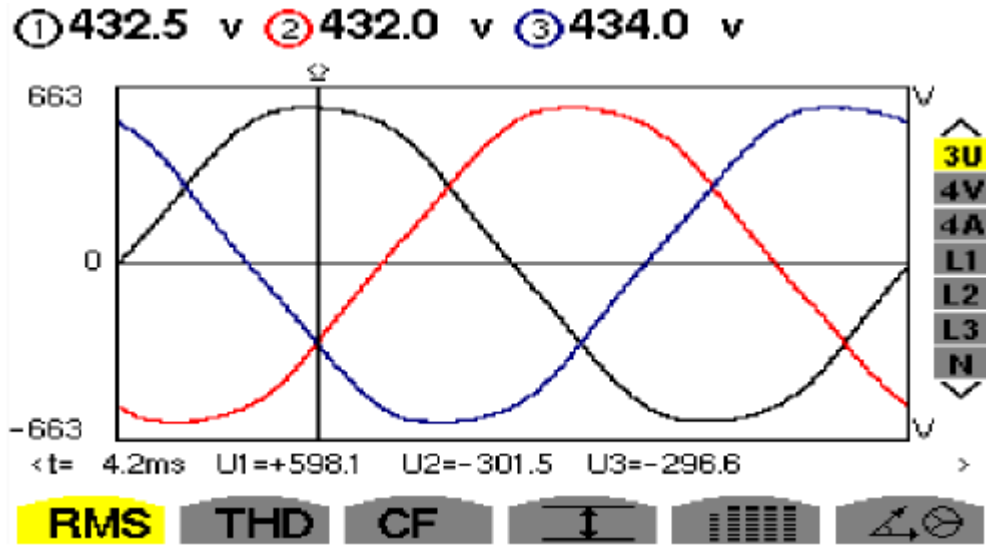


ANEXO 1

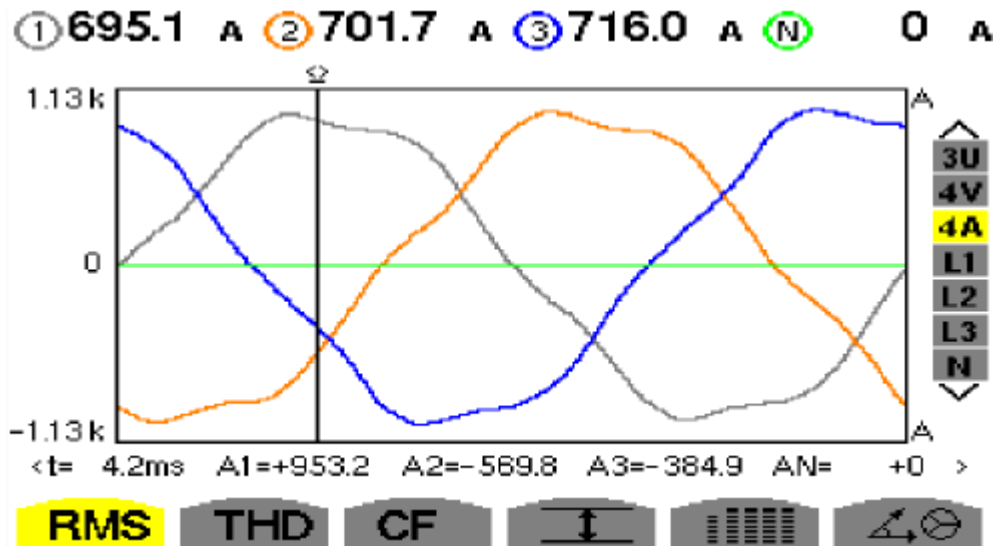
Diagramas Fasoriales, Graficas de Tensión y Graficas Corriente



- TR-SUB 1



Onda de tensión en RMS



Onda de corriente en RMS

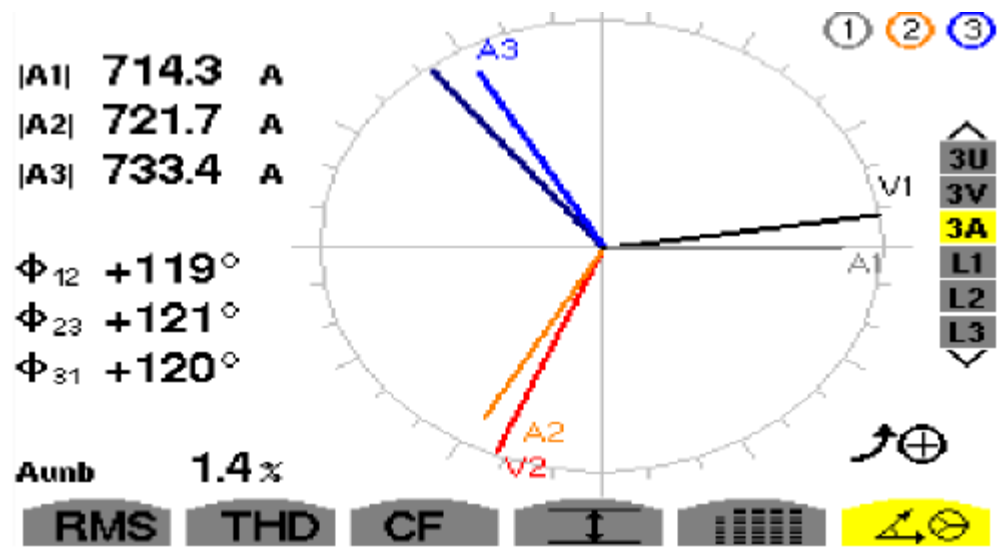
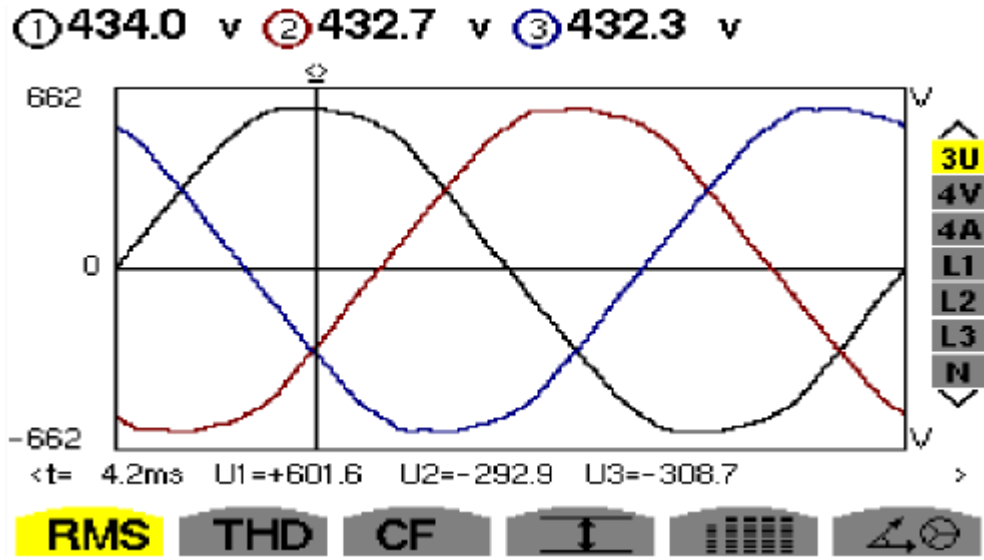


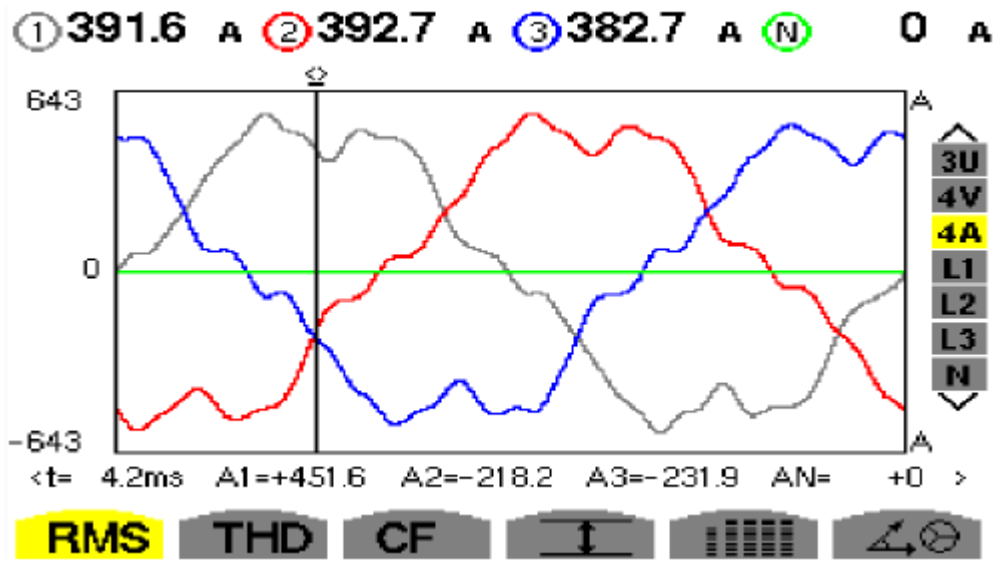
Diagrama fasorial de Corriente y Tensión



- TR-SUB 2



Onda de tensión en RMS



Onda de corriente en RMS

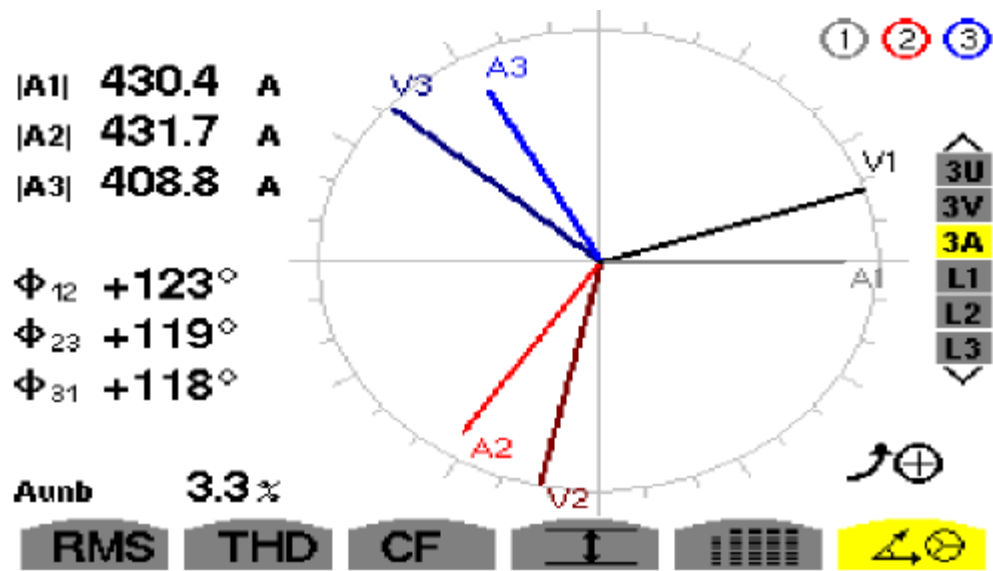


Diagrama fasorial de Corriente y Tensión

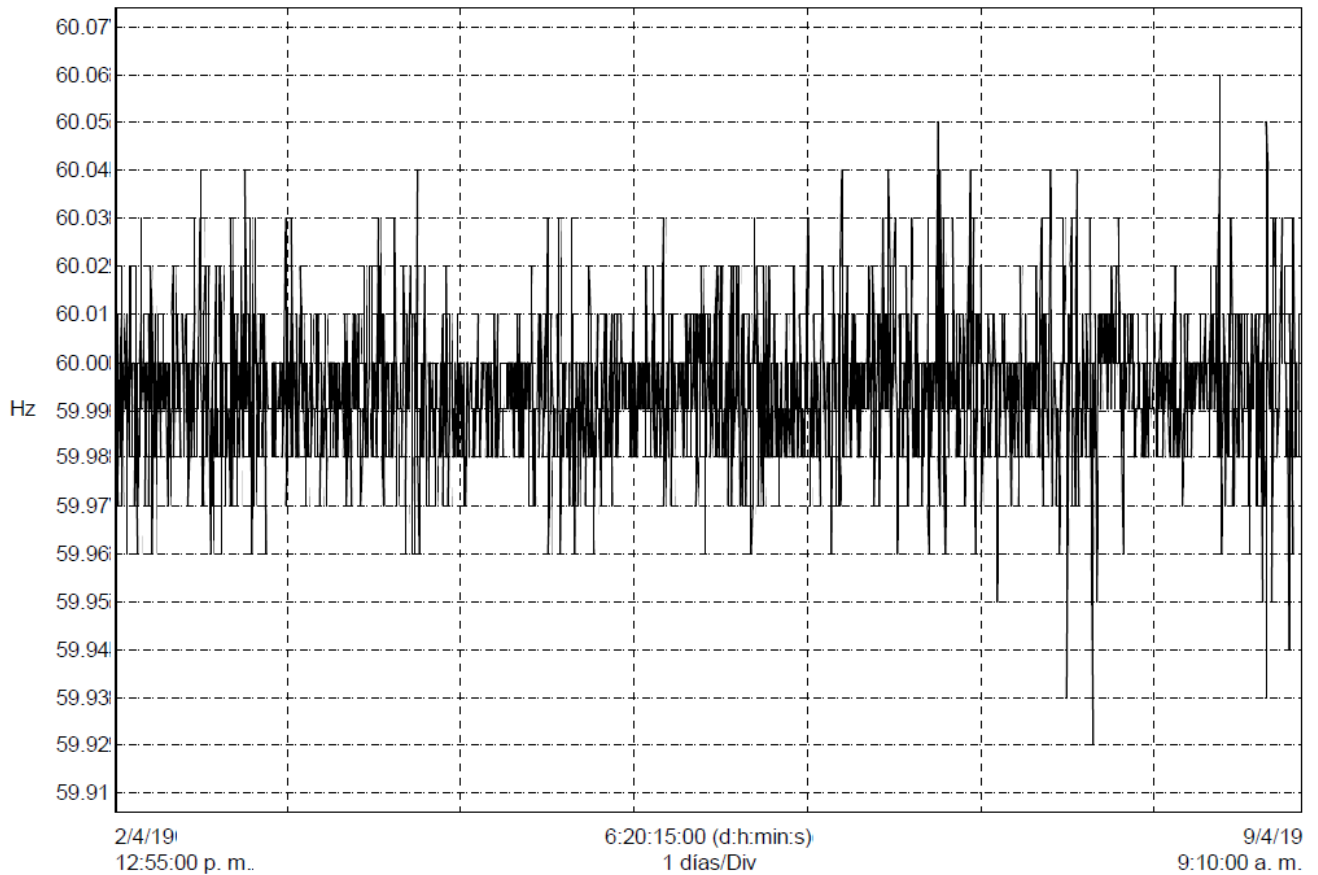
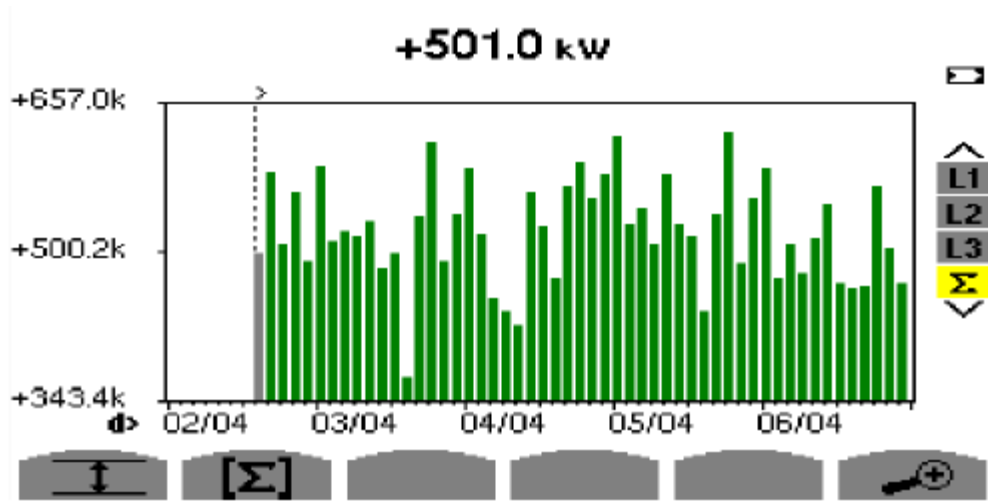


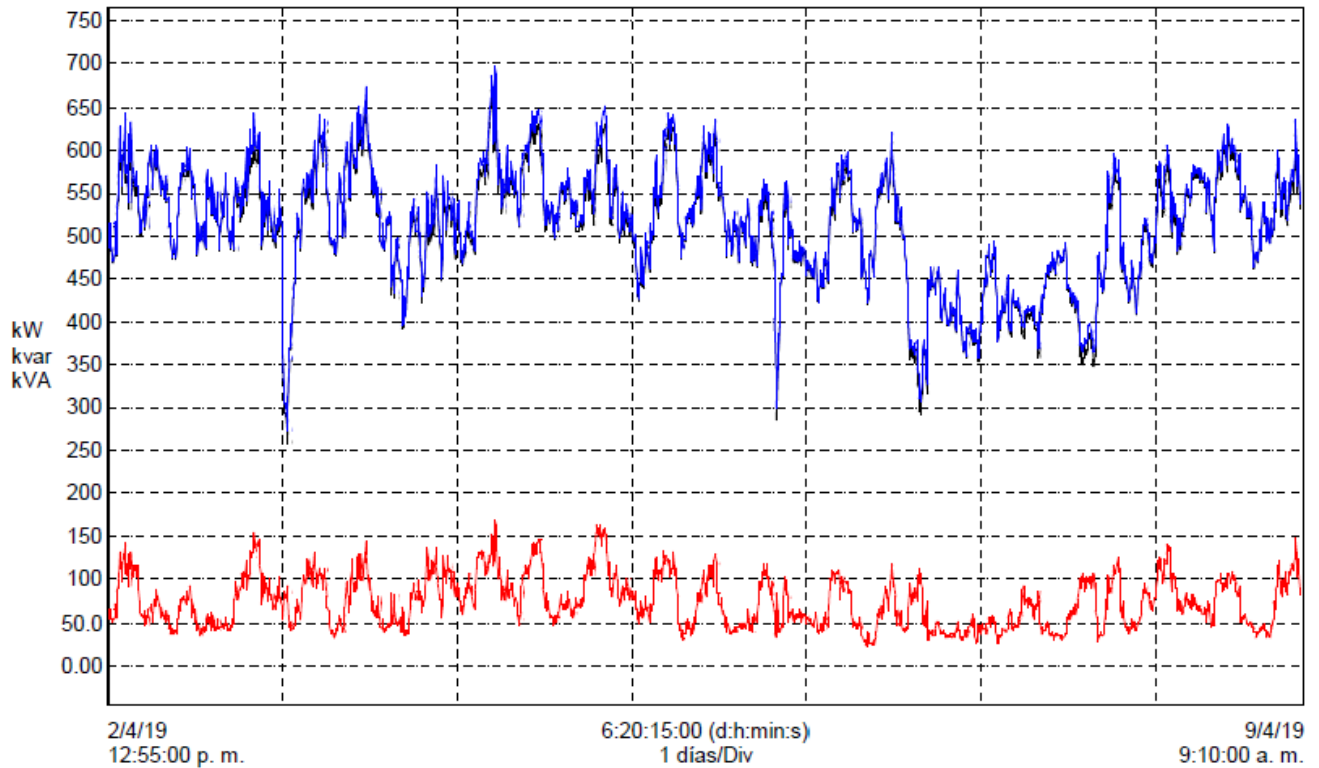
ANEXO 2

Graficas de Tendencia en Potencia Activa, Frecuencia y Potencias



- TR-SUB 1



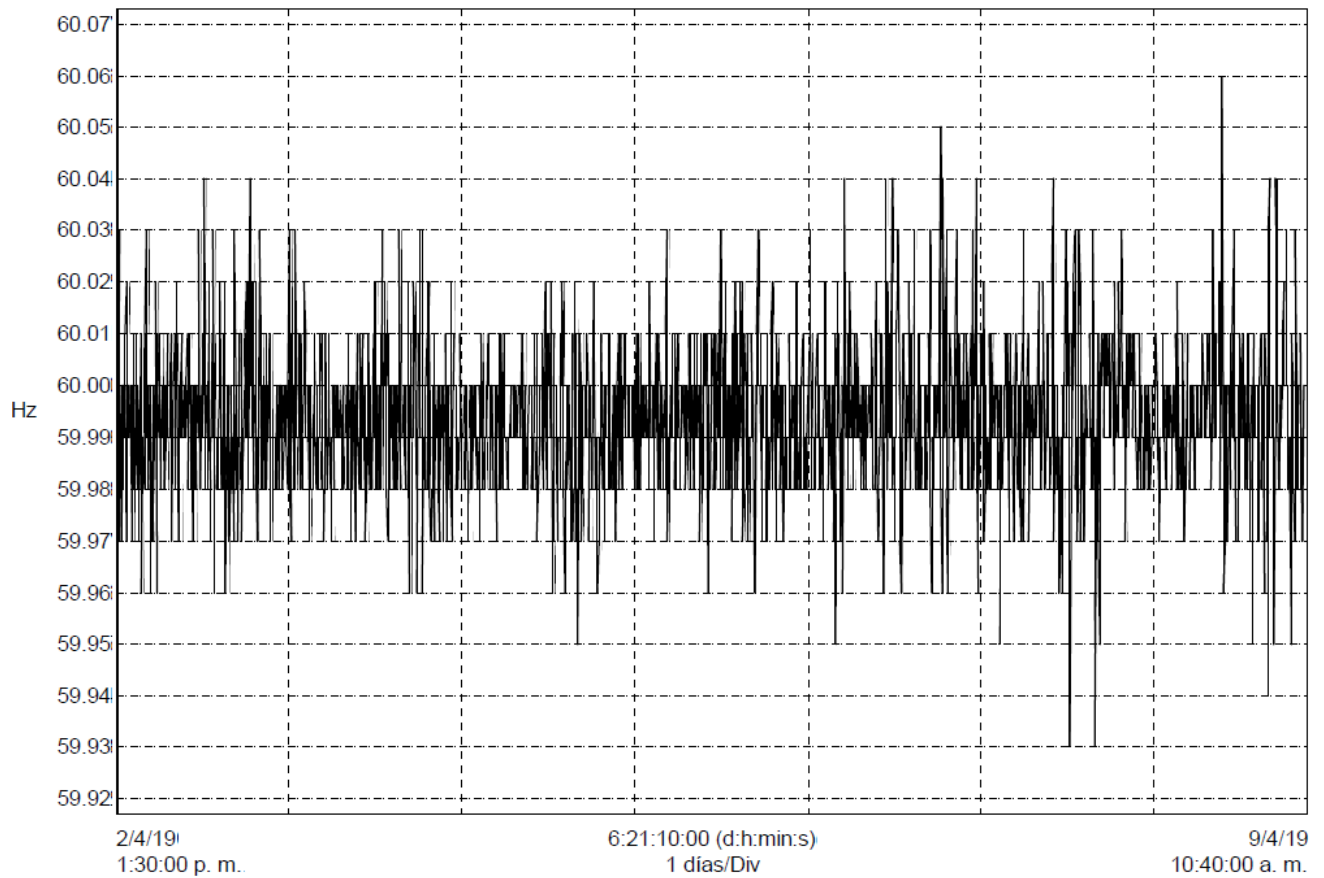
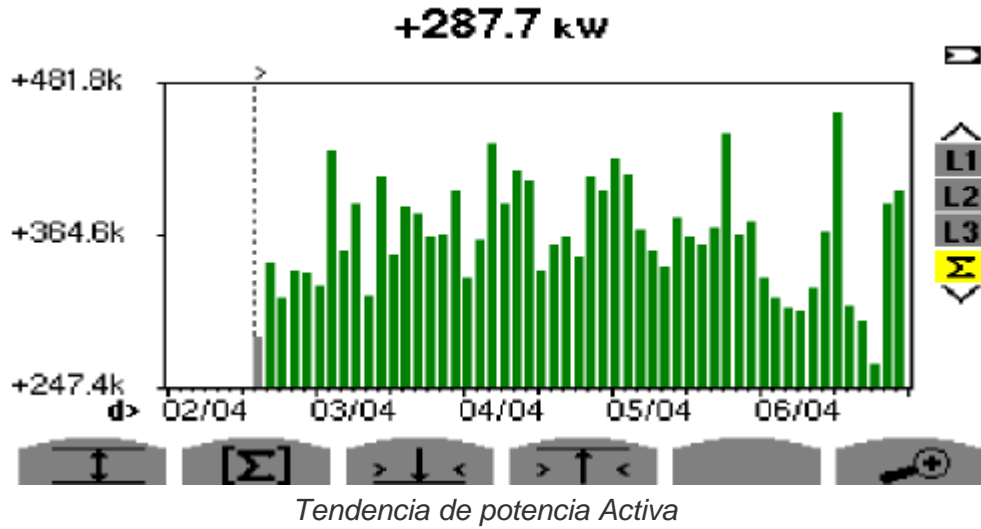


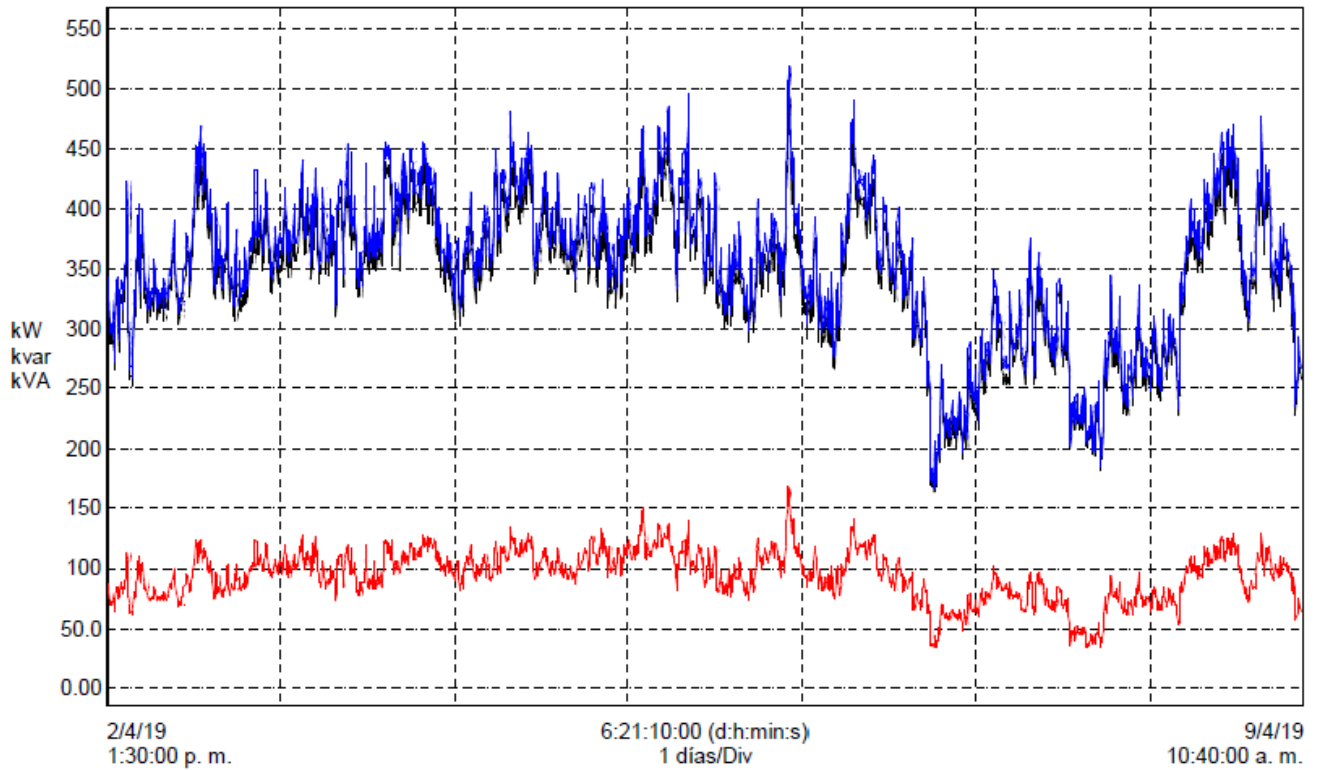
Grafica de Potencias en TR-SUB1

- PT (W)
- NT (var)
- ST (VA)



- TR-SUB 2





Grafica de Potencias en TR-SUB2

- PT (W)
- NT (var)
- ST (VA)



REFERENCIAS ELECTRONICAS

- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/704/A5.pdf?sequence=5>
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14279/Tesis.pdf?sequence=3>
- http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5498552&fecha=26/09/2017&print=true
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1535/Tesis.pdf?sequence=1>
- <http://www.objetos.unam.mx/fisica/circuitosElectricos/pdf/circuitos.pdf>
- <http://www.electricistas.cl/SistemasTrifasicos.html>
- http://www.javierbotero.com/Javier_Botero/Estudio_de_Flujo_de_Carga.html
- <http://ocw.uc3m.es/fisica/fisica-ii/clases/OCW-FISII-Tema07.pdf>
- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>
- http://www.downloads.power-electronics.com/16%20POWER%20ACADEMY/01_POWER_ACADEMY_GENERAL_ANTIGUOS/p_general/VF_IFS0003AE.pdf
- <http://www.fervisa.com.mx/wp-content/uploads/2017/02/CORTO-2017.pdf>
- http://fonkel.com.mx/site/index.php?controller=attachment&id_attachment=228
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/293/A6.pdf?sequence=6>
- <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/8085/1/T06090.pdf>
- http://www.enriquequispe.com/wp-content/uploads/2012/01/2006_Quispe_Palacios_CIUREE.pdf



- <http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2403/Cuantificaci%C3%B3n%20del%20desbalance%20admisibile%20en%20corrientes%2C%20para%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20de%20baja%20tensi%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Power Master MI 2892 Manual de instrucciones *Versión 8.2.2, código nº 20 752 281*

NORMAS CONSULTADAS

- IEEE-std-519-2014. (IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems)
- CFE L0000-70. Calidad de la Energía: Características y Límites de las Perturbaciones de los Parámetros de la Energía Eléctrica.
- CFE L0000-12. Tensiones de Corriente Alterna Empleados en Centrales Generadoras
- CFE L0000-45 Desviaciones Permisibles en las Formas de onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica
- RESOLUCIÓN Núm. RES/151/2019 Código de Red