

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA APLICADO A UN CENTRO
COMERCIAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

ROLANDO VERGARAY GARCÍA

**PROMOCIÓN
2003 - II**

**LIMA – PERÚ
2009**

**ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGIA APLICADO A
UN CENTRO COMERCIAL**

Dedico el presente informe a Dios, a mi esposa Raquel, a mi hija Noelia y a mis padres que son los principales motores para luchar y conseguir mis metas.

SUMARIO

En el presente informe se muestra el análisis y estudios de los fenómenos transitorios en la tensión y corriente presentes en la red de Baja Tensión para un Centro Comercial.

La tienda elegida para el estudio se encuentra en el Centro Comercial Curacao de Av. Argentina N° 3093 y para la tienda de Saga Falabella de Piura.

La finalidad es dar a conocer los cambios de estado presentes en la red eléctrica, los efectos, los daños que causan estos fenómenos en los diferentes equipos y materiales, así como también la búsqueda de una solución adecuada para mejorar la Calidad de Energía

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
CONCEPTOS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA	
1.1 Generalidades.....	3
1.2 Cambios Ocurridos por las Instalaciones.....	4
1.3 Origen de los problemas de Calidad de la Energía.....	5
1.4 Categorías de problemas.....	5
1.5 Mecanismos para interpretar los problemas.....	6
CAPITULO II	
PUESTA A TIERRA	
2.1 Generalidades.....	7
2.2 Tipos de puesta a Tierra.....	8
2.3 Circulación de Corriente por Tierra (Loop de Tierra).....	9
2.4 Circulación de Corriente por el Neutro.....	9
2.5 Problemas Comunes en los Sistemas de Puesta Tierra.....	10
2.6 Separación de los Circuitos de Alimentación.....	11
CAPITULO III	
TRANSITORIOS	
3.1 Generalidades.....	12
3.2 Protección contra Transitorios.....	12
3.3 Variación de Tensión.....	13
3.4 Principales Disturbios Eléctricos.....	13
3.5 Interrupciones.....	17
3.6 Fluctuaciones de Tensión – Flicker.....	18
3.7 Variaciones de la Frecuencia.....	19
CAPITULO IV	
DISTORCION EN FORMA DE ONDA - ARMONICOS	
4.1 Generalidades.....	20
4.2 Reducción de armónicos y mitigación de perturbaciones.....	27

CAPITULO V**EFFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS**

5.1 Generalidades.....	30
5.2 Fuentes de Armónicas.....	30
5.3 Efecto de las Armónicas.....	31
5.4 Orden y amplitud de las componentes armónicas.....	38
5.5 Armónicos triples.....	39

CAPITULO VI**NORMATIVIDAD**

6.1 Generalidades.....	43
6.2 Calidad de Tensión.....	44
6.3 Calidad de Flicker.....	45
6.4 Calidad de Armónicos.....	45
6.5 Calidad de Frecuencia.....	48
6.6 Limites dados por otras Normas.....	49

CAPITULO VII**ETAPAS DE LA NORMA DE CALIDAD PERUANA**

7.1 Calidad de la Energía Eléctrica.....	53
7.2 Calidad de la Energía Eléctrica D.S. N° 020 – 97 – EM.....	54

CAPITULO VIII**EXPERENCIA PROFESIONAL EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGIA APLICADO A UN CENTRO COMERCIAL**

8.1 Descripción del Equipo.....	57
8.2 Modalidades de Análisis.....	58
8.3 Variables Medidas y Calculadas.....	58
8.4 Registro en Memoria (forma automática).....	59
8.5 Puesta en marcha del analizador AR5.....	59
8.6 Pantalla de Valores Instantáneos.....	61
8.7 Estudio de Calidad de Energía para la Tienda Curacao.....	62
8.8 Análisis de Parámetros Eléctricos.....	63
8.9 Saga Falabella de Piura.....	80
8.10 Procedimiento.....	81
CONCLUSIONES	108
ANEXOS	109
BIBLIOGRAFIA	113

PROLOGO

El objetivo principal del presente informe es dar a conocer los fenómenos producidos por la presencia de cargas no lineales en la red (fuentes de armónicos) causante de pérdidas significativas en la producción debido al deterioro de materiales y a la necesidad de sobredimensionar los alimentadores en los circuitos para una instalación eléctrica, el rebobinado en el caso de motores, los cambios en los devanados y núcleos para un transformador (uso del factor K), debido a la aparición de corrientes extrañas con diferentes amplitudes que producen sobre calentamiento y fallas en los diversos equipos presentes en una Instalación Eléctrica.

La necesidad principal es obtener una alimentación confiable ininterrumpida y libre de perturbaciones, razón por la cual la calidad de Energía es un tema de mucha importancia dentro del sistema industrial.

Actualmente se cuenta con Normas Nacionales e Internacionales en las que se encuentran los límites permitidos para la presencia de armónicos dentro de una red eléctrica. Ello permite realizar un adecuado dimensionamiento para los conductores y selección de materiales adecuados en un determinado proyecto.

Gracias al avance tecnológico y a la presencia de Software disponibles el monitoreo de la calidad de la energía es altamente efectiva lo que nos permite detectar, prevenir y dar solución a los problemas en los sistemas de potencia.

El presente informe está formado por ocho capítulos; en el primer capítulo se muestran los conceptos de calidad de energía, el origen de los problemas y los mecanismos requeridos para su mejor comprensión. En el capítulo 2 se expone los medios de protección para los equipos y personas, estudiando los efectos de la puesta a Tierra en el sistema eléctrico. En este capítulo 3 se trata de dar a conocer las variaciones en los sistemas de potencia producidos por efectos transitorios y los principales disturbios eléctricos en la red. En el capítulo 4 se muestra el concepto de armónico, sus orígenes (fuentes de armónicos), las formas de onda y distorsiones que causan en las señales de tensión y corriente, la forma de reducir su presencia mediante filtros atenuadores pasivos y activos.

En el capítulo 5 se encuentra los efectos que causan la presencia de armónicos en los equipos, materiales y sistemas del alta sensibilidad dentro de una instalación eléctrica. La presencia del tercer armónico, sus efectos y la forma de corregirlos.

EL capítulo 6 se muestran las normas que limitan el porcentaje de armónicos en la red, tensión, corriente y perturbaciones (flicker). Se ha tomado un comparativo entre las normas peruanas y países vecinos. Las normas IEEE 519, IEC así como de normas europeas para presencia de armónicos.

En el capítulo 7 se toma de la NORMA TECNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELECTRICOS (NTCSE) en donde se menciona que la calidad de energía es también referida a la calidad de producto, calidad de suministro, calidad de servicio y la calidad del alumbrado público. Se verán conceptos y límites para la tensión, frecuencia y flicker desde el punto de la NTCSE.

En el capítulo 8 toma como experiencia las mediciones hechas en la tienda Curacao de la Av. Argentina y del Centro Comercial Saga de Piura. Se muestra la forma de funcionamiento del equipo utilizado, el sistema de conexión, los gráficos obtenidos y finalmente con el uso de las Normas discutidas en los capítulos VI y VII se verifica el estado y se brinda las recomendaciones necesarias para mejorar la calidad del Servicio.

El anhelo es que este estudio ayude a los alumnos y profesionales.

CAPITULO I

CONCEPTOS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

1.1 Generalidades

El término Calidad de la Energía (Power Quality) se aplica a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos en sistema de potencia.

La creciente aplicación de equipos electrónicos acrecentó el interés en la calidad de energía y ello fue acompañado por el desarrollo de una terminología especial para describir estos fenómenos. Desafortunadamente, esta terminología no se emplea de la misma forma en los diferentes segmentos de la industria lo que ocasiona una gran confusión entre proveedores y usuarios acerca del porque los equipos no funcionan adecuadamente, tal como se esperaba de ellos. [1]

La calidad de la energía eléctrica es un término global que no tiene una definición exacta y que abarca tanto la disponibilidad del suministro eléctrico junto con la calidad de la tensión y la corriente suministradas. Cualquier desviación de la tensión y la corriente de su forma ideal se consideran como una pérdida de calidad o como una perturbación. La mala calidad de la energía eléctrica en el punto de suministro al consumidor puede generar problemas importantes en las instalaciones y equipos conectados a la red.

El sistema de generación solo puede controlar la calidad de la tensión y no tiene ningún control sobre corrientes que las cargas pueden absorber. Por lo tanto los estándares de calidad están relacionados en mantener la tensión suministrada dentro de ciertos límites.

El termino calidad de la energía eléctrica está relacionado con cualquier desvío que pueda ocurrir en magnitud, forma de onda o frecuencia de la tensión y/o corriente eléctrica. Esta designación también se aplica a las interrupciones de naturaleza permanente o transitoria que afecta al desempeño de la transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica. [1]

La disminución de la calidad de la energía eléctrica produce pérdidas, calentamientos y otros efectos pero el más importante es el mal funcionamiento o la avería de los equipos conectados a la red de distribución. Esto puede derivar en problemas importantes en un entorno residencial o comercial, pero en los procesos industriales, los efectos económicos que pueden producir por la parada o la avería de los equipos pueden llegar a ser muy graves.

Entre los términos de uso común que debemos conocer para abordar el tema se encuentran:

1.1.1 Evento de Potencia (power event): es una observación o medición de los valores de tensión o de corriente fuera de los límites establecidos para el sistema de monitoreo.

1.1.2 Disturbio (disturbance): es un evento observado o registrado, que ocasiona una reacción indeseable en el ambiente eléctrico o los sistemas eléctricos.

1.1.3 Problema de Potencia (power problema): conjunto de disturbios o condiciones que puede producir resultados indeseables en las instalaciones, los sistemas o los equipos.

1.2 Cambios Ocurridos por las Instalaciones

El incremento en la productividad de las empresas se basa actualmente en los procesos continuos y en la producción just-in-time, que depende de una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones. Ello explica porque la Calidad de la Energía tiene un impacto directo en la industria. [1]

Cualquier incidente resulta en una detención temporaria de los procesos y puede representar pérdidas significativas de producción y descartes de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en las secuencias que se encontraba y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas. [1]

Durante muchos años las cargas de los usuarios eran lineales por naturaleza. Cuando una tensión sinusoidal se aplicaba a las mismas, están originaban una corriente sinusoidal. Ello ocurría típicamente en aplicaciones tales como iluminación, calefacción y en motores. En general, no eran muy sensibles a las variaciones momentáneas en la tensión de alimentación, tales como Sobre-Tensión y Baja-Tensiones. Las cargas no se encontraban conectadas a redes conectadas en redes y temas como las puestas a tierra no constituían factores críticos de seguridad. [1]

Estos cambios en las características de las cargas crearon un amplio mercado para los equipos de acondicionamiento de líneas que previene variaciones en la Calidad de la Energía. A fin de aplicar los equipos más efectivos, los usuarios han debido convertirse en expertos sobre estos problemas, conociendo sus causas, su posible impacto y las soluciones para mitigarlos. De la misma forma, dado que algunas de las causas se originan en los sistemas de la distribución de energía, estas también deben entender el amplio rango de estos problemas. [1] [4]

1.3 Origen de los problemas de Calidad de la Energía

Múltiples factores, algunos de los cuales se reseñan a continuación, influyen para los ingenieros a cargo de estas instalaciones se replantean una alimentación de energía de alta calidad para todos los equipos:

- Instalación de sistemas eléctricos y electrónicos altamente sensibles en instalaciones antiguas.
- Instalaciones de equipos sensibles en instalaciones nuevas que no fueron diseñadas teniendo en mente los posibles problemas de calidad de la energía.
- Planes de protección inadecuados o inexistentes.
- Diseño inadecuado de las instalaciones eléctricas y los sistemas de puesta a tierra.

La Calidad de la Energía puede ser considerada buena o mala dependiendo del sistema o de la reacción de los equipos específicos, en ocasiones ello depende del tipo de evento. Entre estos factores podemos mencionar:

- La naturaleza y origen de los eventos de potencia
- La susceptibilidad de las cargas particulares a esos eventos.
- El efecto de los eventos sobre las condiciones de operación, productividad o de procesos.

Todas las anomalías se generan en fuentes internas o externas, y luego viajan por la instalación desde el origen de las mismas hacia toda ella. [1] [4]

1.4 Categorías de problemas

Para iniciar el tratamiento del tema es necesario comprender cuales son las perturbaciones de Calidad de la Energía que pueden ocasionar problemas a las cargas sensibles. [1] [4] [5]

A estas categorías de perturbaciones se les ha dado nombres y definiciones diversos, según el país o el área de la industria de que se trate. Un grupo de trabajo de la IEE desarrollo un conjunto consistente de definiciones que son las que habitualmente se emplean para las coordinaciones de las mediciones. Sobre la base de estas definiciones las principales perturbaciones son:

1.4.1 Transitorios (transients)

- Transitorio de Impulso
- Transitorio Oscilatorios

1.4.2 Variaciones de Tensión

- Baja - tensión (sags)
- Sobre - tensiones (swells)
- Interrupciones (interruptions)

1.4.3 Desbalance de Tensión (Voltage unbalance)

1.4.4 Fluctuaciones (Fliker)

1.4.5 Variaciones en la frecuencia

1.4.6 Distorsiones en la Forma de onda (waverform distorsión)

- Inserción de Corriente Continua (DC Offset)
- Armónicas (Harmonics)
- Inter – Armónicas (Interharmonics)
- Notiching
- Ruido Eléctrico (Noise)

1.5 Mecanismos para interpretar los problemas

La compensación de los problemas asociados con la Calidad de la Energía es el primer paso para poder desarrollar normativas sobre el tema, ello significa la posibilidad de identificar las causas de los problemas su impacto en los equipamientos y en los procesos productivos dentro de las instalaciones de los clientes.

Existe un número significativo de desarrollos en curso para ayudar a interpretar los problemas de Calidad de la Energía. Esto se pueden agrupar en tres categorías de investigación:

1.5.1 Monitoreo. Tanto las distribuidoras de energía como los clientes están efectuados más y más monitoreos de la Calidad de la Energía, lo que está dando una buena base de información sobre el tema.

1.5.2 Estudio de Caso. El estudio de casos es una buena forma de caracterizar los problemas de Calidad de la Energía. Existen numerosos casos estudiados por Distribuidoras de energía o por los clientes. Analizando y combinando los mismos se puede obtener resultados de validez general. Del mismo modo, las soluciones implementadas para los casos particulares analizados pueden ser extrapoladas para poder obtener soluciones generales a los problemas de Calidad de la Energía.

1.5.3 Herramientas Analíticas. Los resultados del monitoreo y del estudio de casos pueden ser utilizados para desarrollar modelo analíticos para la simulación de perturbaciones que pueden servir de ayuda para evaluar los problemas y determinar posibles soluciones.

La ventaja de emplear la simulación es que permiten evaluar los sistemas bajo condiciones que no existen actualmente.

CAPITULO II

PUESTA A TIERRA

2.1 Generalidades

Se entiende por puesta a tierra la vinculación intencional de un conductor a tierra. Si esa unión se realiza sin interposición de impedancia (o resistencia) alguna, decimos que es una puesta a tierra directa, en caso contrario sería una vinculación indirecta.

El poner a tierra un sistema eléctrico tiene por objetivo según lo indica el CNE Utilización Tomo V, proteger la vida humana y animal, los bienes y los sistemas eléctricos.

La importancia de la puesta a tierra en instalaciones domiciliarias, radica la seguridad contra tensiones peligrosas para las personas por contactos indirectos. Las protecciones eléctricas deben, en este caso de falla, actuar desconectando la alimentación en tiempos que estén vinculados a los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano.

Cuando una persona forma parte de un camino eléctrico recibe un shock eléctrico como de ve en la Fig. 2.1. La intensidad y el daño originados por el shock están determinados por el nivel de corriente, la duración de la descarga y el camino que sigue la misma a lo largo del cuerpo. En este caso, como se ve en la figura siguiente, la persona forma parte de un circuito en serie y ocurre, por ejemplo, cuando las personas toman contacto con un dispositivo que presenta una falla.

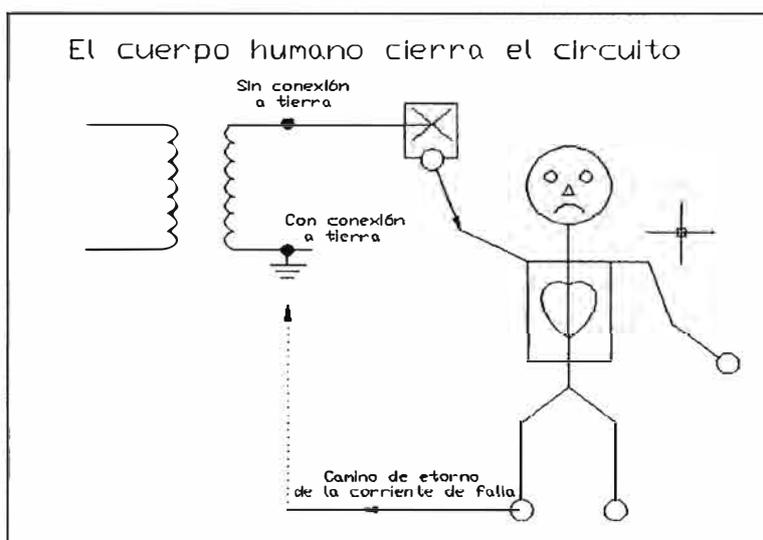


Figura 2.1 Sin conexión a tierra, el sujeto recibe un shock eléctrico

En un circuito en paralelo, como aquellos en que el dispositivo con falla tiene conexión a tierra, además de la persona existe otro camino para la corriente tal como se ve en la Fig. 2.2. En este caso, una parte mínima de la falla a tierra fluye a través de las personas, pero en una magnitud suficiente como para hacer actuar a las protecciones. [1] [2] [4]

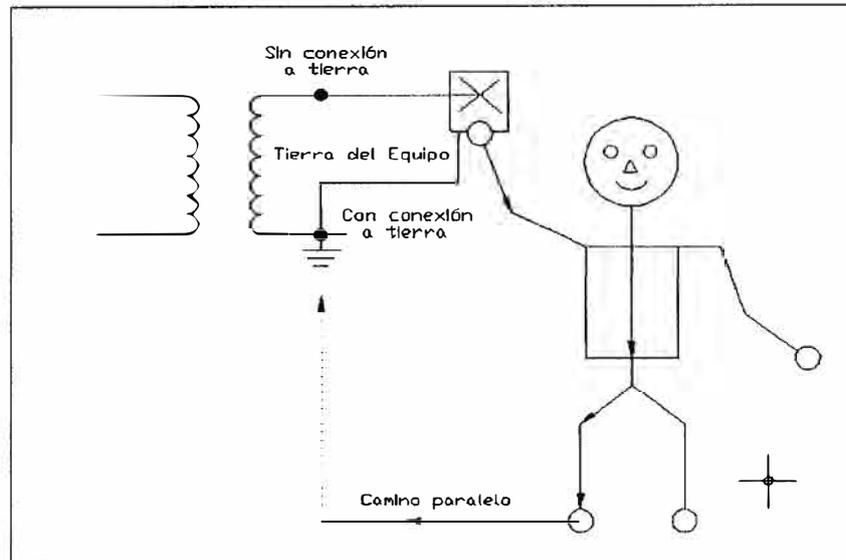


Figura 2.2 Con conexión a tierra, la corriente circula por el conductor de tierra.

2.2 Tipos de puesta a Tierra

Existen distintos tipos de puesta a tierra, de acuerdo al objetivo de las mismas, entre ellas se puede mencionar [1] [4]:

2.2.1 Puesta a tierra de servicio (llamada también funcional)

Es la que mantiene el potencial de tierra de alguna parte de los circuitos de alimentación, como ser los centros de estrella de generadores y transformadores.

2.2.2 Puesta a tierra de protección

Consiste en la puesta a tierra de los elementos conductores que pueden estar en contacto con la instalación, de forma de brindar protección contra contactos indirectos, es decir que permite derivar las corrientes de falla peligrosa para las personas.

2.2.3 Puesta a tierra de referencia

Es la destinada a brindar un potencial constante, que podrá ser empleado para tener una referencia a tierra de diversos equipos. Se emplea para garantizar el funcionamiento correcto, seguro y confiable de una instalación.

2.2.4 Puesta tierra para pararrayos

Es la encargada de llevar a tierra las sobre tensiones producidas por las descargas atmosféricas.

En algunas ocasiones se realizan puestas a tierra conjunta, funcional y de protección

2.3 Circulación de Corriente por Tierra (Loop de Tierra)

La circulación de Corriente por Tierra (loop de tierra) ocurre cuando el conductor de tierra se conecta a puntos de tierra que no tienen el mismo potencial, y son causas de muchos de los problemas de Calidad de la Energía. [1]

En la figura 2.3 se muestra un caso simple de loop de tierra. Con la Tierra 1 a diferente potencial de las Tierras 2 y 3 se produce un flujo de corriente en el sistema de tierra.

Esta corriente provoca ruidos eléctricos que son función de muchas variables y pueden variar con el tiempo y generalmente provocan fallas en el funcionamiento de los sistemas lógicos.

La circulación de corriente por tierra se puede detectar con equipos de monitoreo. El procedimiento consiste en colocar el probador de corriente alrededor del cable de potencia y monitorear los retornos de CA en el neutro esta técnica emplea una medición de "s suma a cero". Ello significa que las señales normales se cancelan y cualquier loop de corriente queda registrado. Medición superior a 0,1 A valor eficaz (RMS) deben ser investigadas.

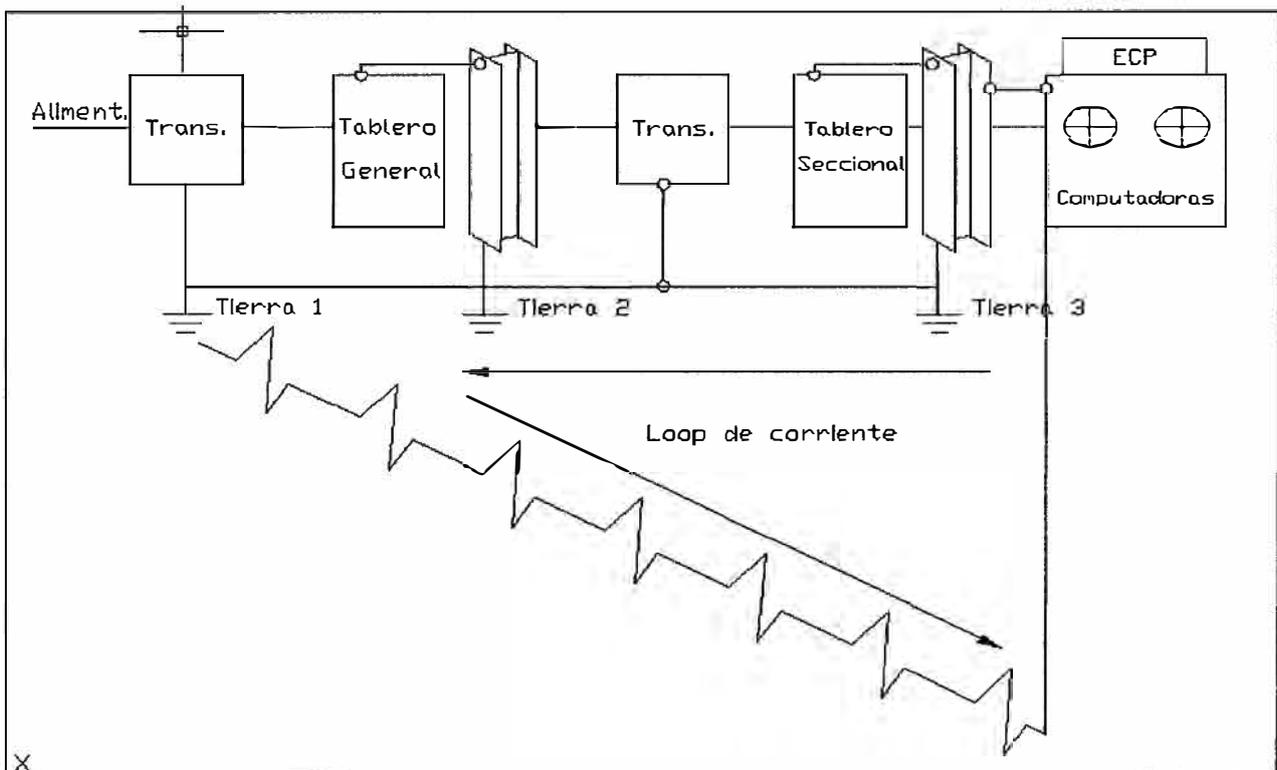


Figura 2.3 Loop de Tierra

2.4 Circulación de Corriente por el Neutro

La corriente solo puede circular por el conductor de protección (verde-amarillo) en condiciones de falla y durante el tiempo necesario para hacer actuar las protecciones.

Desafortunadamente se da con frecuencia el caso de circulación de corriente por el neutro; la causa primaria de ello es la existencia de uniones “neutro tierra” en tableros secundarios de la instalación.

De acuerdo a la ley de Kirchoff la corriente se divide y toma caminos paralelos. Parte de la corriente fluye al sistema de tierra. El conductor verde – amarillo actúa como un neutro secundario. La situación se agrava en el caso de que se coloquen tierra suplementaria para los equipos electrónicos.

El problema se complicó aún más con la aparición de las redes de computadoras (LAN) ya muchos link de datos incluye conexiones de tierra en los cables entre equipos. Por ello siempre que sea posible conviene realizar los vínculos de datos a través de cables de fibra óptica, que son inmunes a este tipo de problemas.

Las siguientes reglas permiten minimizar el problema de retorno de corriente por el neutro [1] [2] [3]:

- Evitar las referencias (tierras) múltiples e las distintas piezas de equilibrio electrónicos.
- Para las cargas electrónicas usar acondicionadores de potencia basados en transformadores para restablecer el sistema de referencia y proveer un nivel de protección general.
- En las grandes instalaciones emplear transformadores triángulo-estrella para controlar la circulación excesiva de corriente.
- Usar fibra óptica en las redes de datos para prevenir los loop de tierra.

2.5 Problemas Comunes en los Sistemas de Puesta Tierra

A modo de síntesis se indica a continuación los problemas más comunes en los sistemas de Puesta Tierra de edificios, residenciales, centros comerciales y el origen de los mismos:

2.5.1 Sistematización de los problemas

- Algunas luces brillan más y otras se opacan, durante pocos segundos, cuando arranca los motores. Esto es típico de un problema con la conexión del neutro.
- Se reciben descargas de corriente de carcasas de los equipamientos.
- Se reciben descargas de corriente de cañería o drenaje.
- Las descargas atmosféricas producen daños repetidos.
- Los cables de tierra transportan corriente.
- Los cables de tierra están cortados fundidos.

2.5.2 Orígenes más comunes de los problemas

- Falla en la unión del conductor neutro al sistema de tierra en el tablero principal.
- Falla en la unión del conjunto de componentes del sistema.

- Cableados inadecuados de las salidas (calentamiento).
- Cableado inadecuados de los cables de TV y teléfono (utilizando tierras separadas).
- Perdidas de conexiones en tableros y salidas.
- Empleo de conexiones pobres o corroídas. [1] [2] [3]

2.6 Separación de los Circuitos de Alimentación

El éxito en el diseño de los alimentadores de control consiste en la separación de las alimentaciones de potencia de las cargas sensitivas de las fuentes de ruido dentro del sistema. Es decir que cada circuito debe alimentar a cargas de un mismo tipo (sensibles o no sensibles) y, de ser posible, los tableros también deben ser diferentes.

Circuitos separados para cargas sensibles significa que tanto las fases como el neutro son diferentes. Suele ser una buena idea colocar en las oficinas líneas dedicadas para las computadoras o bien tener un subsistema de alimentación para las mismas.

Algunos equipos como las fotocopiadoras y las máquinas de fax deben estar aislados de las computadoras. En caso de las impresoras, conectadas por cables de comunicaciones blindados, pueden ser alimentadas del mismo circuito que las cargas sensibles.

No obstante, la separación es sólo una parte del problema, debido a que las válvulas solenoides, motores, a que las válvulas solenoides, motores, medidores y otros dispositivos eléctricos requieren de circuitos de retorno, que termina trabajando en conjunto.

El asilamiento significa alta impedancia; pero en un sistema todas las impedancias no pueden ser elevadas. Por lo tanto, se deben prever caminos de baja impedancia donde la corriente pueda fluir o donde se desee un corte de corriente. Como contra partida, la creación de caminos de alta y baja impedancia actúa como filtro efectivo. La existencia de estos caminos significa que las corrientes pueden ser derivadas de las cargas sensibles empleados componentes sencillos y económicos. [1] [2] [3]

CAPITULO III

TRANSITORIOS

3.1 Generalidades

El término Transitorio es ampliamente utilizado en el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia para denotar un evento que aparece momentáneamente.

Otra definición a los cambios de estado establece que un transitorio es “la parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de un estado instantáneo en la condición de operación a otro”. Desafortunadamente, esta definición puede ser usada para describir cualquier situación inusual que ocurra en un sistema de potencia.

3.2 Protección contra Transitorios

El primer paso para proteger contra transitorios a computadoras y otras cargas sensitivas es ejecutar una buena instalación. Se requiere una puesta a tierra cuidadosa, con tierra equipotencial para la sala de computadoras. Con tierra pobre, la acción de supresores de transitorios puede no ser efectiva. [1] [4] [5] [7]

Siempre que sea posible los sistemas deberán ser examinados en busca de posibles fuentes potenciales de transitorios, en la intención que puedan ser eliminadas de raíz, debido a que una sola fuente pueda afectar a muchos componentes.

Las principales ventajas de instalar un dispositivo supresor de transitorios son:

- Los interruptores no se disparan sin causa aparente.
- Se evitan fallas en el funcionamiento de los microprocesadores.
- No se arruinarán los circuitos electrónicos sin explicación.
- Los motores no perderán velocidad durante su funcionamiento.
- Disminuirán los problemas de arranques de tubos fluorescentes.
- Se virarán el problema de pérdidas de memoria en computadoras o PLC durante su funcionamiento.
- Los relés de tiempo y medidores no darán lecturas incorrectas.
- Disminuirán el recambio de contactores, tubos fluorescentes, balastos, etc.
- Disminuirán los tiempos muertos y lucros cesantes por equipos fuera de servicio.

- No se observará equipos destruidos ni dañados en el caso de intrusión en la red de descargas atmosféricas.

3.3 Variación de Tensión

Esta categoría comprende a las denominadas:

- Disminución de Tensión o Baja Tensión (sag)
- Incremento de Tensión o Sobre Tensión (swells)
- Pérdidas Totales de Tensión (interruptions.)

A su vez, y de acuerdo a la duración de las mismas, estas variaciones pueden ser:

- Microcortes o Instantáneas
- De corta Duración o Momentáneas, si no exceden de 1 minuto
- De larga Duración o Temporarias, cuando exceden de 1 minuto.

Las más comunes son las variaciones de tensión de corta duración, que están causadas por condiciones de falla, por la energización de cargas que requieran de corrientes de arranque importantes o por pérdidas intermitentes de conexiones en el cableado. En este caso, el impacto es de corta duración ya que es el período que transcurre desde que se verifican las condiciones de falla hasta que actúan los dispositivos de protección.

Estos problemas suelen ser corregidos o compensados con procedimientos comunes, como ser acondicionadores de línea o alimentadores de energía ininterrumpibles (UPS). En los casos donde se deben garantizar la continuidad del suministro puede ser necesario el empleo de generadores de reserva.

3.4 Principales Disturbios Eléctricos

3.4.1 Interrupciones de servicio (blackout)

Es una caída de energía por debajo del 10% con una duración de 30 ciclos en adelante. En una instalación es generalmente de un orden de magnitud menos frecuente que un disturbio por bajo voltaje momentáneo; estando en el orden del 4% en algunos casos. Sin embargo, si le ocurre con cierta frecuencia, entonces deben tomarse las medidas para tener una fuente alterna disponible conveniente, como un UPS o un grupo generador. Usualmente es debido a tareas de reparación o mantenimiento de la compañía eléctrica, caída o rotura de cables o fusibles activados por sobrecargas o cortocircuitos, etc. Tal como se muestra en la Figura 3.1

3.4.2 Micro cortes del voltaje

Son caídas muy breves (en el rango de los microsegundos o pocos milisegundos) del suministro eléctrico.

Son causadas principalmente por maniobras de transferencia en las centrales de distribución de energía (puede derivar en cambios importantes de la tensión luego del microcorte) o por la inclusión de cargas muy grandes o cortocircuitos en la línea tal como se observa en la Figura 3.2

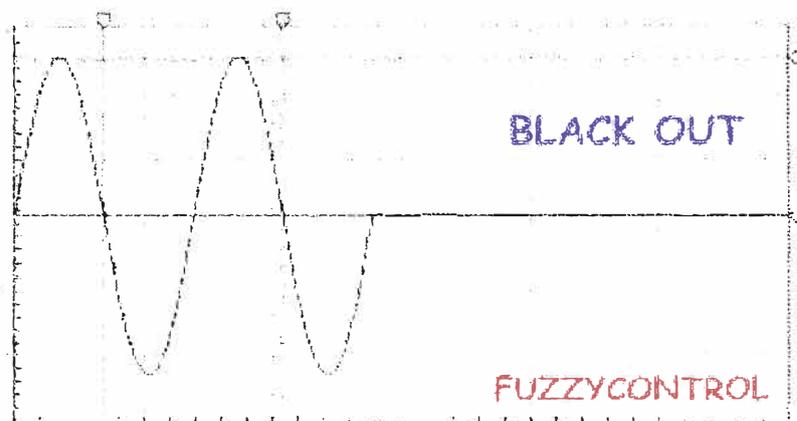


Figura 3.1 Interrupciones de servicio (blackout)

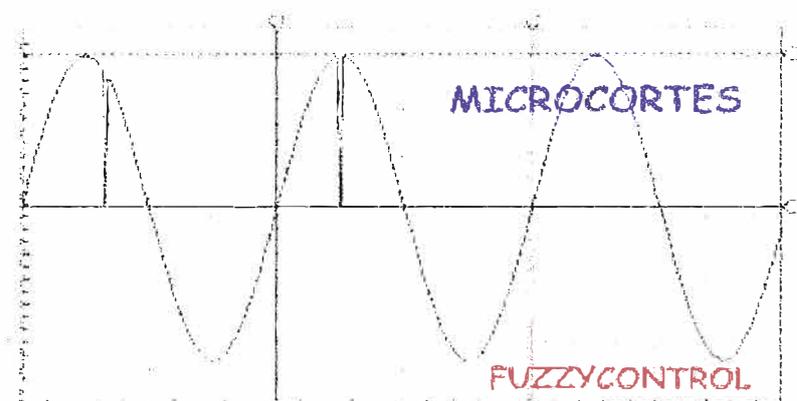


Figura 3.2 Micro cortes del voltaje

3.4.3 Bajo voltaje momentáneo (sag)

También llamado dip en gran breaña, es una baja en el nivel de voltaje de entre un 10% y 90%, y de una duración de entre medio ciclo y un minuto.

Las caídas de tensión momentáneas se han vuelto un problema común en los años recientes, produciendo efectos que van desde el parpadeo lámparas en los hogares hasta procesos industriales interrumpidos. Esta es una condición que típicamente ocurre cuando se inicia una falla en el sistema eléctrico y dura hasta que la falla sea eliminada por un dispositivo de sobre corriente, siendo la más común de los disturbios eléctricos (hasta el 87 %). La falla puede ocurrir en la planta industrial o en el sistema de la

empresa eléctrica. Este tipo de condición puede ocurrir también durante el arranque de motores grandes.

Muchos productos eléctricos no están hechos para ajustarse a estas condiciones de bajo voltaje temporal. Esta condición temporal tiende a ocurrir diez veces más frecuentemente que una interrupción total de energía. La solución más viable es un estabilizador de voltaje. Ver Figura 3.3

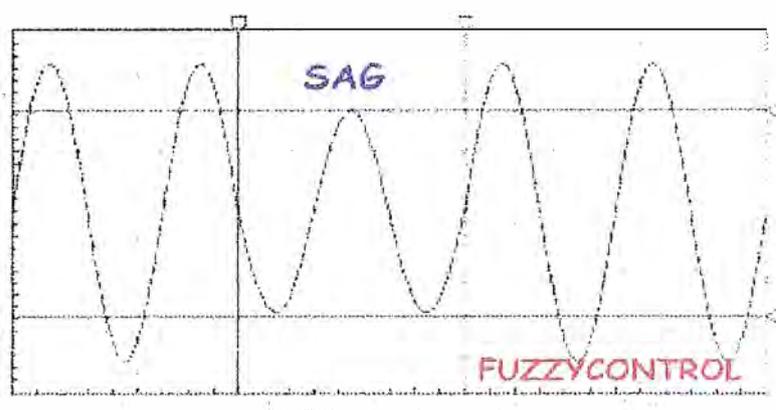


Figura 3.3 Bajo voltaje momentáneo (sag)

3.4.4 Sobre voltaje momentáneo (swell)

Una “hinchazón” o “swell” es el opuesto de un sag, es decir, un aumento del voltaje por sobre del 110% del valor nominal, por una mitad de ciclo y hasta un minuto. Si bien es cierto que esta perturbación eléctrica ocurre con menos frecuencia en comparación con los sags, estos pueden causar mal funcionamiento y acelerar el desgaste.

Los “Swells” pueden ser causados al apagar grandes cargas o al encender bancos de condensadores.

La solución más viable es un estabilizador de voltaje. Ver Figura 3.4

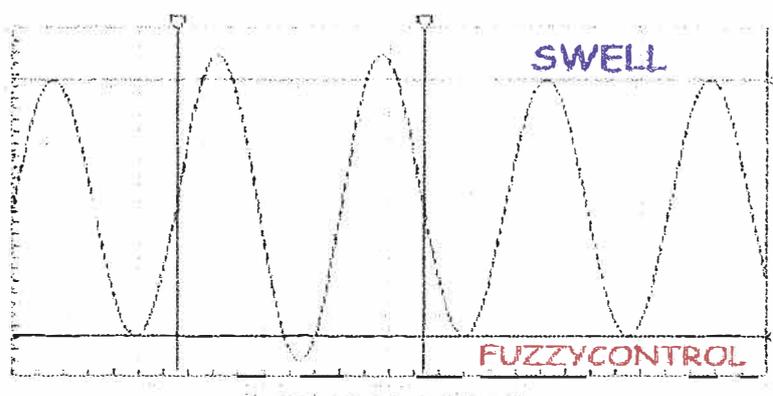


Figura 3.4 Sobre voltaje momentáneo (swell)

3.4.5 Notching

“Notching” o muescas es una perturbación de polaridad opuesta a la forma de onda normal, (que se sustrae de la forma de onda), de duración de menos de medio ciclo. Este fenómeno es causado frecuentemente por conmutadores electrónico o acondicionador de energía eléctrica que no funcionan correctamente como es el caso de un UPS e incluso estabilizadores de voltaje; aunque no es un disturbio muy común. Aunque el “notching” no es usualmente un problema mayor, puede causar que equipos, especialmente electrónicos, operen incorrectamente. Ver figura 3.5

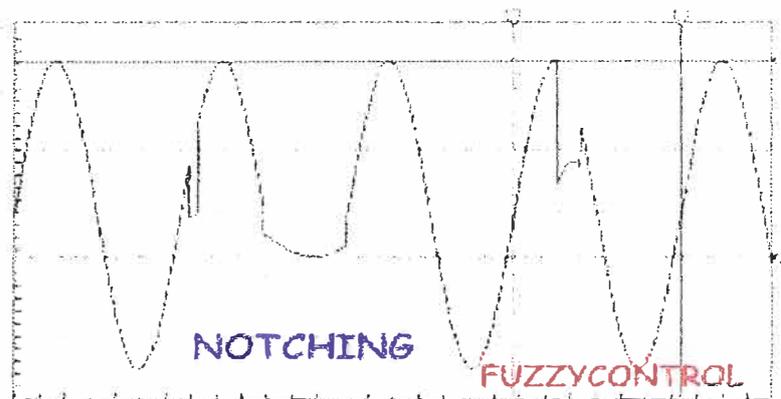


Figura 3.5 Notching (Perturbación de Polaridad)

3.4.6 Ruido eléctrico

El ruido es una distorsión de alta frecuencia en la forma de onda del voltaje. Causado por perturbaciones en la alimentación comercial o por equipos tales como soldadoras eléctricas, cajas de conmutación, inversores, drives y transmisores, el ruido pasa frecuentemente desapercibido.

Un ruido frecuente o de altos niveles puede causar malfuncionamiento en los equipos alimentados, corrupción de datos, sobrecalentamiento y desgaste en general.

Se recomienda el uso de un estabilizador de voltaje de alta calidad ó UPS con filtros de baja, media y alta frecuencia incorporadas, ó un transformador de ultra-aislación con pantalla electrostática y los filtros adecuados. Se observa en la Figura 3.6

En efecto de duración los huecos de tensión se agrupan alrededor de tres valores:

- 4 ciclos: tiempo típico de aclaramiento de fallas.
- 30 ciclos: recierre instantáneo para los interruptores.
- 120 ciclos: tiempo de retardo para los interruptores.

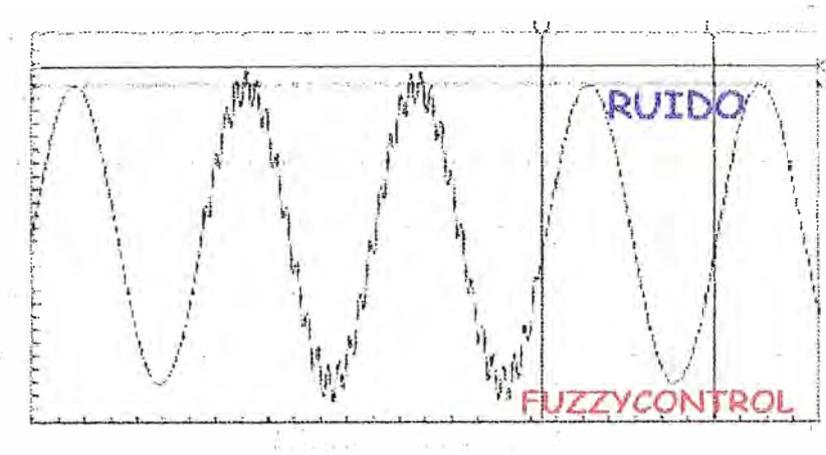


Figura 3.6 Ruido eléctrico

Efectos:

- Extinción de lámparas de descarga.
- Operación incorrecta de dispositivos de control
- Variación de velocidad o parada de motores.
- Disparo de Contactores.

Posibles soluciones: UPS [1] [4] [5] [7]

3.5 Interrupciones

Una interrupción acontece cuando la tensión de suministro o las corrientes de carga disminuyen a menos del 1% de la nominal. Si esa interrupción tiene una duración que no excede de 1 minuto se denomina de Corta Duración o Momentáneas, si excede de dicho lapso estamos en presencia de una interrupción de de Larga Duración o Temporaria.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas de equipos en el sistema de alimentación, fallas de equipos, o un mal funcionamiento de los sistemas de control. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema de la distribuidora está terminada por el tiempo de operación de los dispositivos de protección.

Los reenganches instantáneos generalmente limitan las interrupciones casadas por fallas no permanentes a menos de 30 ciclos.

La demora en el reenganche de las protecciones puede causar interrupción momentánea o temporaria. La duración de las interrupciones debidas a mal funcionamiento son malas conexiones suele ser bastante irregular.

Algunas interrupciones suelen ser precedidas por disminución temporarias de tensión.

Las Interrupciones de Larga Duración conocidas también como "blackout" por su nombre en ingles, suelen estar causadas por tormentas, por accidentes o por fallas en los equipos de las distribuidoras o de los usuarios. En general, estos cortes totales en la

tensión requieren de la intervención humana para la reparación y restablecimiento del sistema.

Si los equipos de nuestra instalación deben permanecer en funcionamiento durante los corte, se deben prever alimentaciones de soporte mediante Generadores de Emergencia, Baterías, o Fuentes de Energía Ininterumpible. (UPS) [1]

3.6 Fluctuaciones de Tensión – Flicker

Las Fluctuaciones de Tensión son variaciones sistemáticas de tensión o series de cambios de tensión al azar, con una magnitud que normalmente no excede el 10% (en más o menos) de las tensiones especificadas.

Las fluctuaciones de tensión son divididas en dos categorías:

1. Cambios de escalones de tensión, en forma regular o irregular, tales como las producidas por máquinas de soldar, molinos
2. Cambios cíclicos o aleatorios de la tensión producida por las correspondientes variaciones en la impedancia de la carga tal como hornos de arco.

Muchas veces las Fluctuaciones de Tensión suelen denominarse Flicker; y aún en las normas estos conceptos suelen estar vinculados.

En realidad, el término Flicker o parpadeo es la impresión subjetiva del ojo humano respecto de la fluctuación de la luminaria, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión.

Desde un punto de vista técnico, las Fluctuaciones de tensión son fenómenos electromagnéticos mientras que el Flicker es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión en algunas cargas. Los Flicker constituyen problemas difíciles de cuantificar y resolver; pero para que se constituyan en una molestia se debe dar la combinación de dos factores:

1. Las fluctuaciones en la tensión de alimentación de los circuitos de alimentación y
2. La presencia de una persona que observe el cambio en la intensidad de la luz originado en la fluctuación mencionada.

3.7 Variaciones de la Frecuencia

Las Variaciones en la Frecuencia de la red se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado), en nuestro país es de 60 Hz.

La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores de alimentación del sistema. Siempre existen pequeñas variaciones en la frecuencia como resultado de un balance dinámico entre las cargas y los cambios en la generación

La amplitud de las variaciones de la frecuencia y su duración dependen de la respuesta a los cambios de cargas de los sistemas de control de la generación. [1] [4]

CAPITULO IV

DISTORSION EN FORMA DE ONDA – ARMONICOS

4.1 Generalidades

En un sistema de potencia ideal, el voltaje que abastece a los equipos de los clientes, y la corriente de carga resultante son perfectas sinusoides. En la práctica, sin embargo, las condiciones nunca son ideales, tan así que estas formas de onda se encuentran frecuentemente muy deformadas. Esta diferencia con la perfecta senoide se expresa comúnmente desde el punto de vista de la distorsión armónica de las formas de onda del voltaje y de la corriente.

La distorsión armónica en los sistemas de potencia no es un fenómeno nuevo - esfuerzos para limitarlo a proporciones aceptables ha sido el interés de ingenieros de potencia desde los primeros días de los sistemas de distribución. Entonces, la distorsión era ocasionada típicamente por la saturación magnética de transformadores o por ciertas cargas industriales, tales como hornos o soldadores de arco. El mayor interés eran los efectos de los armónicos sobre motores sincrónicos y de inducción, interferencia telefónica, y fallas en capacitores de potencia. En el pasado, los problemas de armónicas podían ser tolerados porque los equipos tenían un diseño conservador y las conexiones Estrella aterrada - delta de los transformadores se usaron juiciosamente.

La distorsión de la senoide fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por:

$$f_{\text{armónicos}} = nx60 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

donde n es un entero.

La figura 4.1 ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos.

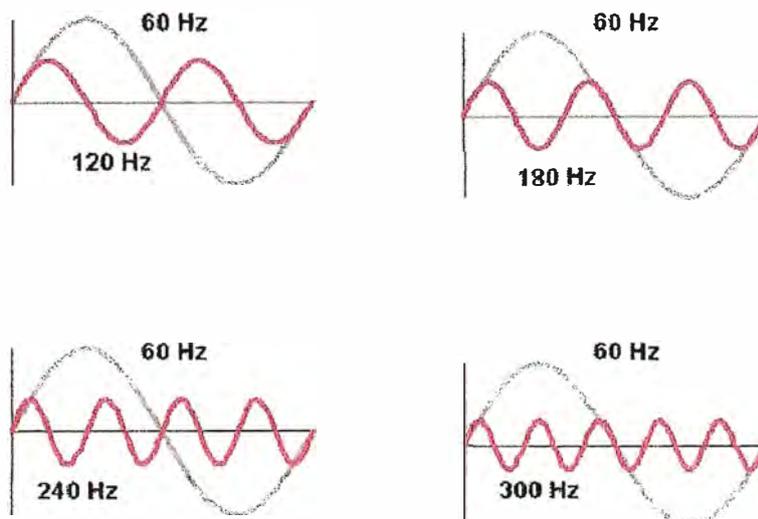


Figura 4.1 La Onda Senoidal a la Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).

La Figura 4.2 muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden.

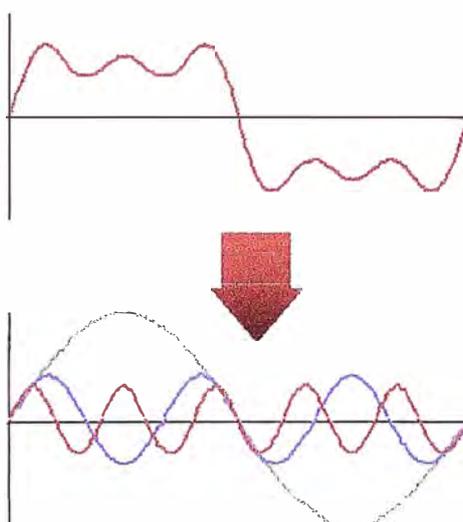


Figura 4.2. La Onda Deformada Compuesta por la Superposición de una Fundamental a 60 Hz y Menores Armónicos de Tercer y Quinto Orden.

Los armónicos son caracterizados frecuentemente por un factor de distorsión armónica (DF) definido como:

$$DF = \frac{\sqrt{\text{Sum of squares of harmonic amplitudes}}}{\text{Amplitude of the fundamental}} \quad (4.2)$$

El factor de distorsión puede usarse para caracterizar tanto la distorsión en las ondas de voltaje como de corriente. Los factores totales de distorsión armónica pueden especificarse para una gama de armónicos tal como el segundo a través del undécimo armónico. El factor de distorsión también puede ser obtenido para armónicos sencillos o de pequeña magnitud. La distorsión armónica total (THD) es el factor de distorsión que incluye a todos los armónicos relevantes (típicamente tomado como el segundo a través del quincuagésimo armónico). [3] [5] [7]

4.1.1 La Importancia de Entender a los Armónicos, en los sistemas actuales.

Como se mencionó recientemente, los problemas por distorsión armónica no son nuevos ni para las compañías de distribución eléctrica ni para los sistemas industriales. De hecho, la distorsión fue observada por los operadores de las compañías de distribución a principios de la primera década de este siglo. Típicamente, la distorsión era ocasionada por cargas no lineales conectadas a la red de distribución.

Sin embargo, hoy día son necesarios ciertos métodos para reducir los armónicos, debido a tres razones principales:

1. La proliferación en el uso de los convertidores estáticos de potencia.
2. Las resonancias de red han aumentado.
3. Las cargas del sistema de potencia son cada vez más sensibles al armónico.

La introducción de convertidores de potencia confiable y eficiente ha ocasionado un aumento elevado en el número de dispositivos generadores de armónicas lo que ha resultado en su dispersión sobre todo el sistema de potencia. El término " convertidor estático de potencia ", como se usa en este texto, se refiere al dispositivo semiconductor que convierte potencia de una frecuencia en potencia de otra frecuencia. Los tipos de convertidores más comunes en la industria son el rectificador, convertidor de potencia ac en dc, y el inversor que convierte de potencia dc a ac.

Además, el problema de los armónicos es agravado frecuentemente por la tendencia actual de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia o regular el voltaje. Debido a que los capacitores se instalan en paralelo con la inductancia de el sistema de potencia, como se muestra en la Figura 4.3, puede producirse una condición resonante a la frecuencia dada por:

$$f_{\text{resonant}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4.3)$$

donde L representa la inductancia del sistema de potencia, y la C representa la capacitancia del capacitor instalado.

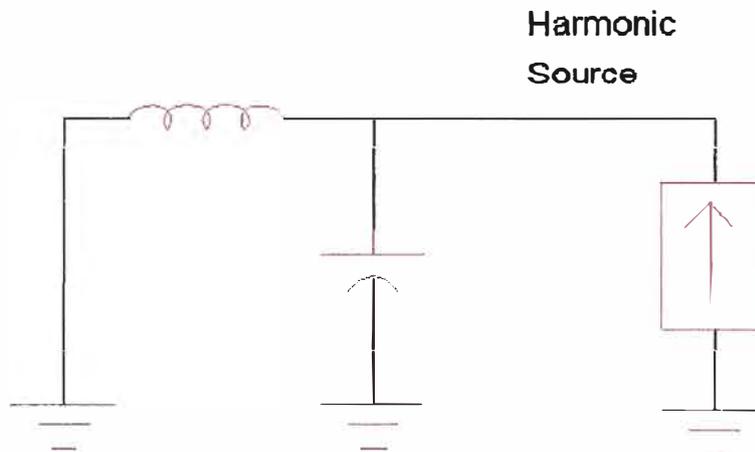


Figura 4.3. Excitación de un Circuito resonante en Paralelo

Si una corriente armónica es inyectada (desde un convertidor estático de potencia, por ejemplo) con una frecuencia cercana a la frecuencia resonante, puede entonces circular una alta corriente oscilante, la que podría quemar el fusible de los condensadores y producir voltajes armónicos altos.

Además del aumento en los generadores de armónicas y la resonancia de la red, las cargas y los sistemas eléctricos no se han quedado atrás, y en algunos casos son aun más sensibles a los armónicos. Hay un número de nuevas áreas de interés continuo:

1. Computadoras, la computadora controla herramientas, máquinas, y los diversos tipos de controladores digitales los cuales son especialmente susceptibles al armónico, así como también a otros tipos de interferencia.
2. El armónicos puede ocasionar daños calentando el dieléctrico en cables subterráneos.
3. La medición de reactivos puede ser adversamente afectada por los armónicos.
4. Las fallas en bancos de capacitores son frecuentemente ocasionadas por los armónicos.
5. Diseños menos conservadores para máquinas de rotación y transformadores, agravan los problemas de calentamiento ocasionados por los armónicos.

6. Los armónicos puede ser especialmente problemáticos para los sistemas de comunicación.

Los actuales problemas de armónicos pueden tener más consecuencias serias y generalizadas que en el pasado. Los diseñadores y los proyectistas de sistemas deberían ser capaces de reconocer y evitar o mitigar tales problemas. [3] [5] [7]

4.1.2 Los efectos de los Armónicos

Los efectos de los armónicos se dividen en tres categorías generales:

1. Efectos sobre el sistema de potencia mismo
2. Efectos sobre la carga del consumidor
3. Efectos sobre circuitos de comunicación

En el sistema de potencia, las corrientes armónicas son el problema principal, ocasionando recalentamiento y pérdida de vida útil. Esto refiriéndonos a motores o transformadores. El impacto es peor cuando la resonancia de la red amplifica las corrientes armónicas. Los armónicos pueden también interferir en la operación de relees y mediciones.

Los armónicos pueden ocasionar también errores de disparo a los tiristores en equipos convertidores y en instalaciones SVC, inexactitudes en las mediciones, y falsos disparos en los dispositivos de protección. El desempeño de los equipos de los consumidores, tales como controladores de velocidad de motores y fuentes de alimentación de computadoras, puede ser adversamente afectado por los armónicos. Además, las corrientes armónicas que fluyen sobre las líneas de potencia pueden inducir ruido sobre líneas cercanas de comunicación.

La distorsión armónica de voltaje puede ocasionar esfuerzos en el aislamiento de equipos, particularmente en condensadores. Cuando los armónicos deforman el voltaje en el banco de condensadores, el voltaje pico puede ser lo suficientemente alto como para ocasionar una descarga parcial, o efecto corona, dentro del dieléctrico del condensador. Esto puede producir eventualmente un cortocircuito entre bornes y carcasa y hacer fallar al condensador.

Las corrientes armónicas altas también ocasionan el disparo de fusibles en bancos de condensadores. Esto ocasiona la pérdida de una fuente de alimentación reactiva al sistema, lo que puede ocasionar otros problemas. [3] [5] [7]

4.1.3 Las Fuentes de Armónicos

Los armónicos son ocasionados por cargas no lineales conectadas al sistema de potencia. Las cargas no lineales producen corrientes no sinusoidales. Los resistores, inductores, y los condensadores son dispositivos lineales. Cuando se conecta una carga

resistiva en el sistema de potencia AC, se obtiene una corriente sinusoidal. Cuando se conecta una carga inductiva, se observan corrientes sinusoidales aunque con fase diferente a la carga resistiva. Hay muchos tipos de cargas no lineales que producen armónicos. La fuente más grande de armónicos son los convertidores. Los convertidores oscilan desde enormes subestaciones inversoras de 1000 MW para líneas HVDC (High Voltage DC) hasta rectificadores de 75 W encontrados en una televisión. Las otras fuentes no lineales de armónicos incluyen dispositivos de arco tales como hornos de arco, impedancia magnetizante de transformadores, y luces fluorescentes. La corriente armónica ocasionada por las fuentes no lineales pueden ocasionar la distorsión armónica en el voltaje del sistema, lo que puede ocasionar problemas para otros dispositivos. La Figura 4.4, muestra mediciones para formas de onda de corriente y espectros armónicas para varias fuentes armónicas comunes. [3] [5] [7]

4.1.4 Los Convertidores Estáticos de Poder

La mayor aplicación de los convertidores estáticos está en los dispositivos variadores de velocidad para el control de motores. Estos dispositivos (drive) estáticos se usan ahora en todos los motores industriales, ofreciendo mayor eficiencia, mejor control de la velocidad, y mayor operación libre de mantenimiento que otros dispositivos convencionales.

Los convertidores usan dispositivos de "switching" de estado sólido para convertir la potencia de una frecuencia a otra (comúnmente entre CA y CC). Estos dispositivos de "switching" pueden ser diodos, tiristores, GTO, o muchos otros dispositivos de electrónica de potencia.

Se muestra la salida de un rectificador monofásico de onda completa, para ilustrar como los dispositivos de "switching" producen armónicos. Los rectificadores de onda completa son muy comunes en pequeños equipos electrónicos (TVs, computadoras, stereos, etc). El rectificador monofásico para corriente DC se observa en la Figura 4.5. Los diodos actúan para cortar la mitad negativa de la onda sinusoidal. El condensador trata de retener el voltaje al pico. Dos veces por ciclo, el condensador se carga, y esta es la única vez en que el rectificador dibuja la forma real de la corriente del sistema. Por lo tanto, la corriente de carga se obtiene como la suma de pulsos tal y como se observa en la Figura 4.6. [3] [5] [7]

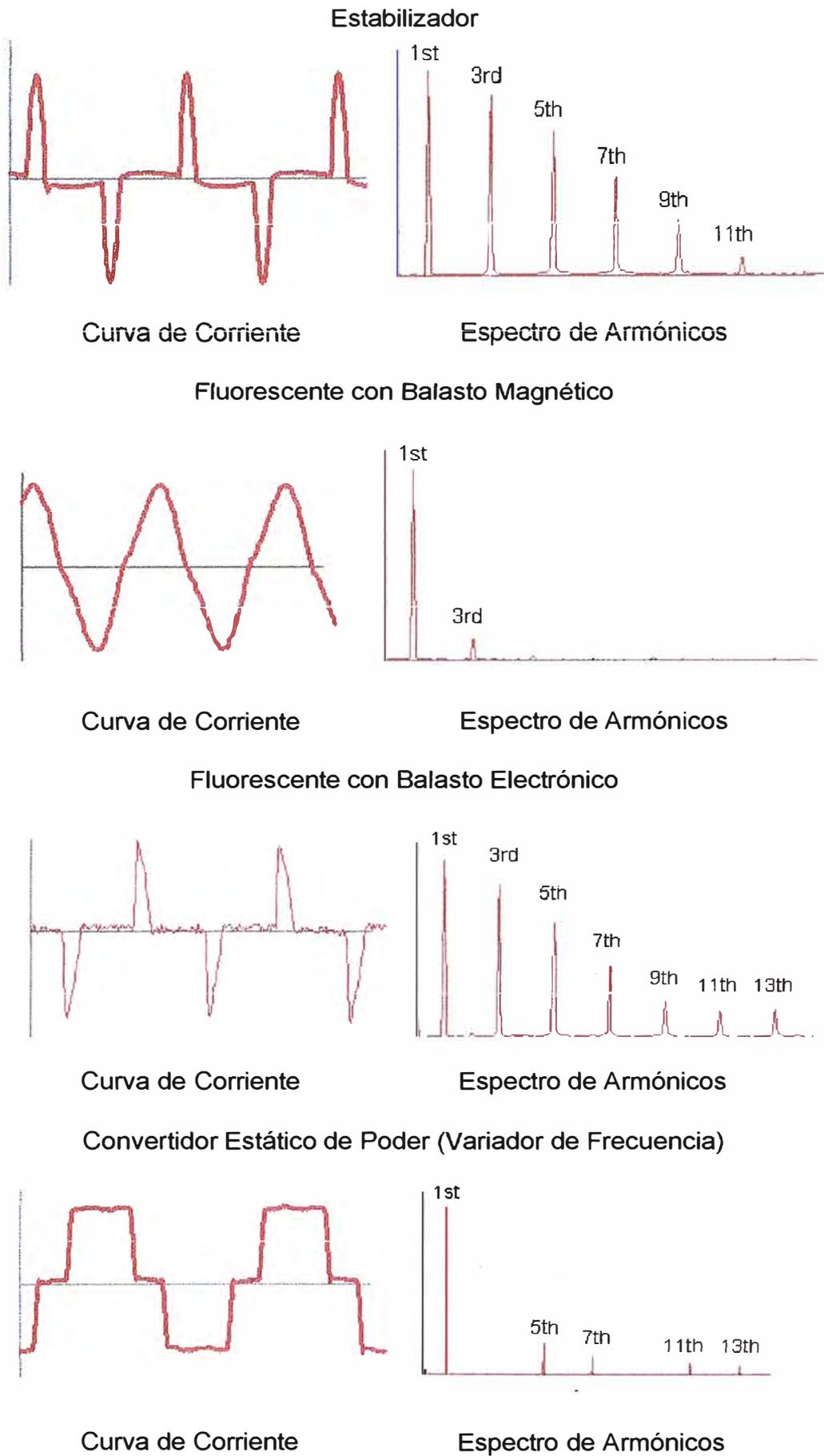


Figura 4.4. Ejemplo de las formas de onda desde varias fuentes comunes.

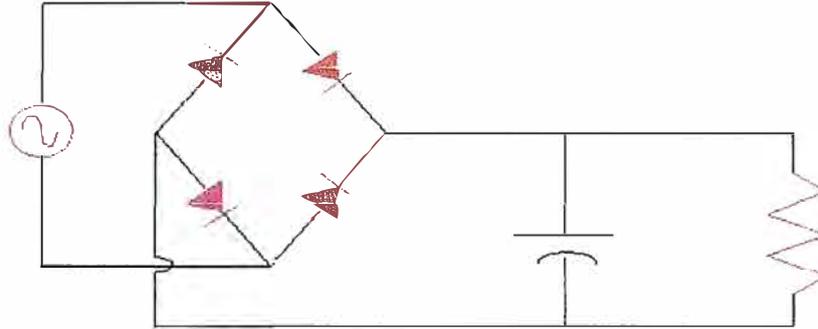


Figura 4.5. Rectificador monofásico de onda completa

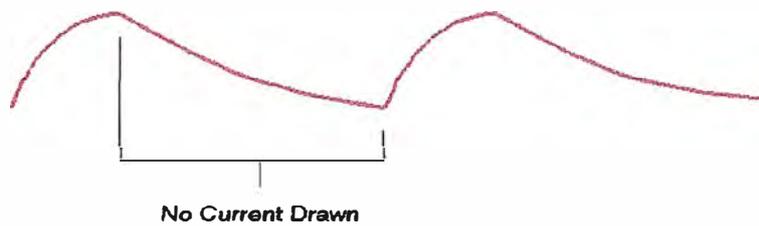


Figura 4.6. Voltaje y Corriente AC a través de la Carga en un rectificador de onda completa.

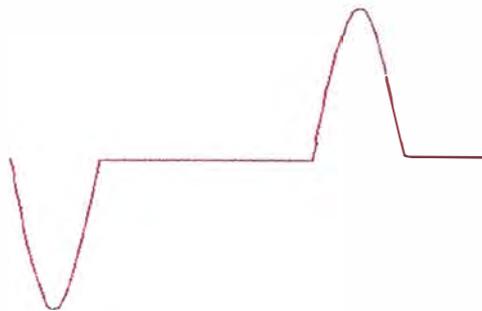


Figura 4.7. Corriente AC obtenida de un equipo común.

4.2 Reducción de armónicos y mitigación de perturbaciones

- Mitigación de armónicos.
 - Diseño y especificación de filtros pasivos.
 - Diseño y especificación de filtros activos.
 - Mitigación de armónicos superiores.
 - Mitigación de las muescas o notching.

- Análisis y compensación de caídas transitorias de tensión (sags).
- Otros equipos disponibles para

4.2.1 Filtros de Armónicos

Los filtros armónicos se pueden emplear para:

- Mejorar el factor de potencia
- Reducir la presencia de Armónicas.
- Reducir el retorno de corriente por el neutro.
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución.
- Aumentar la potencia disponible.

Para reducir el contenido armónico en determinadas barras del sistema se emplean filtros que pueden ser:

Filtros pasivos

- Sólo utilizan condensadores, inductancias y resistencias.

Filtros activos

- Utilizan elementos semiconductores para el control.

a) Filtros pasivos

Suelen ser del tipo LC y disponen de una bobina serie y n paralelo que sintoniza con el armónico a eliminar, cerrando las bobinas con condensadores entre fases.

Características:

- Sus características son restringidas (porque generalmente están sintonizados a una sola frecuencia).
- Tienen un menor costo comparado con los filtros activos.
- Pueden construirse utilizando condensadores de corrección del factor de potencia.
- Tienen buen rendimiento energético (pocas pérdidas), excepto en los filtros pasabanda u otros filtros complejos.
- No requieren mantenimiento especial.

b) Filtros activos

Analizan cada una de las fases de manera permanente teniendo en cuenta la forma de la onda de la corriente de carga. El análisis se realiza a través del espectro Armónico, que está constituido por la suma de la intensidad fundamental y la de todos y cada uno de los

armónicos. El compensador genera una señal de corriente que es igual a la diferencia entre la corriente de carga y la intensidad fundamental. Esta diferencia, que es la suma de las corrientes armónicas desfasadas 180° , se inyecta a la carga de modo que la resultante será una corriente senoidal igual a la intensidad fundamental de la fuente. El compensador se intercala en paralelo entre la fuente y la carga y evita que los armónicos circulen aguas arriba, contribuye a la optimización de la impedancia de la instalación y mejora la calidad de la tensión bajando la tasa de distorsión global de tensión; como consecuencia de ello el transformador estará menos desclasificado.

Características:

- Sus características son muy flexibles (dentro de ciertos límites, se pueden adaptar a las frecuencias que deben ser filtradas). Pueden compensar corrientes o tensiones armónicas
- Tienen un mayor costo comparado a los filtros pasivos.
- Es necesario protegerlos contra sobretensiones en la
- red.
- Tienen necesidad de un mantenimiento especial.
- Es difícil la construcción de un filtro de grandes desproporciones y con una respuesta rápida.

[1] [6]

CAPITULO V

EFFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

5.1 Generalidades

Las armónicas son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz) por ejemplo. Con el creciente aumento en el uso de cargas no lineales (procedentes de la electrónica de potencia), se han empezado a tener algunos problemas en las instalaciones eléctricas debido a los efectos de las componentes armónicas de corrientes y voltajes en el sistema eléctrico, que no se contemplaban anteriormente. Entre estos están el sobrecalentamiento de cables, transformadores y motores, corrientes excesivas en el neutro, fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito (si se cuentan con bancos de capacitores para corrección del factor de potencia) y en general la calidad en el suministro de energía eléctrica se ha ido deteriorando por la distorsión presente en los voltajes y corrientes.

Esta situación puede llegar a causar un funcionamiento incorrecto de muchos equipos (especialmente los menos robustos) que han sido diseñados para operar bajo condiciones normales (poca distorsión armónica). Además, se presenta un incremento en los costos de operación como resultado de algunos factores ligados a la generación de armónicas. Estos problemas han sido ampliamente analizados en los libros y artículos, se han desarrollado equipos de medición sofisticados que permiten realizar estudios acerca de éstos y además se cuenta con prácticas recomendadas para tener cierto grado de control sobre los mismos.

Se presentará un análisis de los efectos más comunes provocados por las armónicas en los sistemas eléctricos, en conjunto con una extensa bibliografía para el lector interesado en profundizar en el tema.

5.2 Fuentes de Armónicas

En general, cualquier tipo de carga no lineal conectada al sistema eléctrico causará distorsión armónica. A continuación se muestra una lista de ejemplos comunes de fuentes de armónicas en sistemas de potencia, entre las que se citan algunas cuyos

efectos se pueden despreciar de manera segura en sistemas de distribución:

- a. Saturación de transformadores
- b. Corrientes de energización de transformadores
- c. Conexiones al neutro de transformadores
- d. Fuerzas magnetomotrices en máquinas rotatorias de corriente alterna
- e. Hornos de arco eléctrico
- f. Lámparas fluorescentes
- g. Fuentes reguladas por conmutación
- h. Cargadores de baterías
- i. Compensadores estáticos de VAR's
- j. Variadores de frecuencia para motores ("drives"), inversores
- k. Convertidores de estado sólido

Es importante señalar que las armónicas son una situación de estado estable, por lo que no se deben confundir con fenómenos transitorios. Aun y cuando las corrientes de energización en los transformadores son transitorios en sistemas eléctricos, también se pueden citar dentro de fuentes que producen armónicas si operan en sistemas que presentan una resonancia aguda en alguna de las frecuencias de esta corriente (en su mayoría la 2^{da}, 3^{ra}, 4^{ta} y 5^{ta} armónicas). Esto causaría una distorsión en voltaje que a su vez afectará a la corriente de energización del transformador, por ende excitando aún más la frecuencia de resonancia del sistema e incrementando la distorsión en voltaje hasta niveles que pueden degradar o dañar equipo en forma instantánea o eventual. [1]

5.3 Efecto de las Armónicas.

Los efectos producidos por las armónicas en los componentes de los sistemas eléctricos han sido analizados tanto para circuitos particulares como para toda una red interconectada, no obstante en algunos casos es muy difícil cuantificarlos en forma específica puesto que dependen de muchos factores. A continuación se presentará un compendio de los mismos, citando las referencias correspondientes. [1] [3] [4]

5.3.1 Efecto en cables y conductores: al circular corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule, $I^2 R$, donde R es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente esta dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable (manteniendo su valor rms igual al valor de corriente directa) disminuye el área efectiva por donde ésta circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior como se observa en la Figura 5.1, lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor.

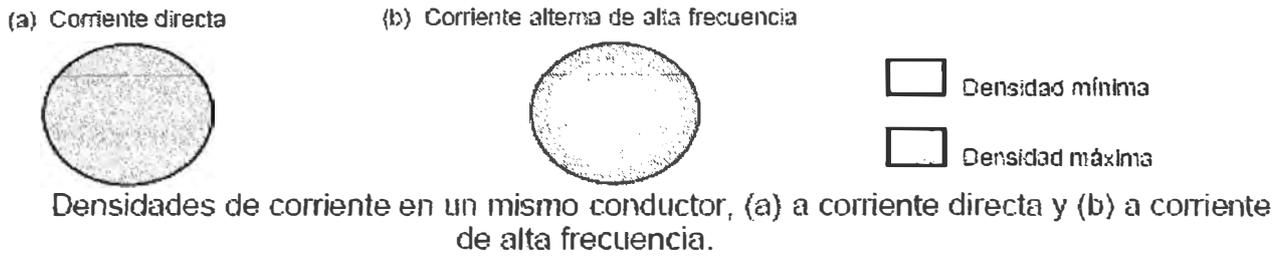


Figura 5.1 Densidad de Corriente

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, por ende también aumentan las pérdidas por calentamiento. A frecuencia de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino porque este factor se considera en la manufactura de los conductores. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente. La Tabla 1 muestra la razón entre la resistencia de alterna y la de directa producida por el efecto piel en conductores redondos, a frecuencias de 60 y 300 Hz.

Tabla 5.1 Ejemplo de efecto piel en conductores

Tamaño del conductor	Resistencia AC / Resistencia DC	
	60 Hz	300 Hz
300 MCM	1.01	1.21
450 MCM	1.02	1.35
600 MCM	1.03	1.50
750 MCM	1.04	1.60

5.3.2 Efecto en transformadores: la mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil. Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I^2R , pérdidas por corrientes de eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro. De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:

a.- Pérdidas sin carga o de núcleo: producidas por el voltaje de excitación en el núcleo. La forma de onda de voltaje en el primario es considerada senoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no senoidales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos

en las pérdidas totales son mínimos.

Pérdidas I R: si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

b.- Pérdidas por corrientes de eddy: estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no senoidal (y por lo tanto en también en su temperatura). Estas pérdidas se pueden expresar como:

$$P_e = P_{e,R} \left[\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \quad (5.1)$$

Donde:

h = armónicos

I_h = corriente de armónica h , en amperes

I_R = corriente nominal, en amperes

$P_{e,R}$ = pérdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal

c.- Pérdidas adicionales: estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado. Se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia, como se muestra en la ecuación (2).

$$P_{AD} = P_{AD,R} \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_R} \right)^2 h \quad (5.2)$$

Donde:

P_{AD} = pérdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal

Aunado a estas pérdidas, algunas cargas no lineales presentan una componente de corriente directa en la corriente de carga. Si este es el caso, esta componente aumentará las pérdidas de núcleo ligeramente, pero incrementarán substancialmente la corriente de magnetización y el nivel de sonido audible, por lo que este tipo de cargas se debe evitar. En el caso de transformadores conectados en delta - estrella (comúnmente de distribución) que suministran cargas no lineales monofásicas como pueden ser fuentes reguladas por conmutación, las armónicas "triples" (múltiplos de 3) circularán por las

fases y el neutro del lado de la estrella, pero no aparecerán en el lado de la delta (caso balanceado), ya que se quedan atrapadas en ésta produciendo sobrecalentamiento de los devanados. Se debe tener especial cuidado al determinar la capacidad de corriente de estos transformadores bajo condiciones de carga no lineal puesto que es posible que los volts-amperes medidos en el lado primario sean menores que en el secundario. Con el constante aumento de cargas no lineales, se han llevado a cabo estudios para disminuir la capacidad nominal de los transformadores ya instalados que suministran energía a este tipo de cargas. Además, en el caso de transformadores que operarán bajo condiciones de carga no lineal, es conveniente en lugar de sobredimensionar el transformador, utilizar un transformador con un factor K mayor a 1. Estos transformadores son aprobados por UL (Underwriter's Laboratory) para su operación bajo condiciones de carga no senoidal, puesto que operan con menores pérdidas a las frecuencias armónicas. Entre las modificaciones con respecto a los transformadores normales están:

- a.- El tamaño del conductor primario se incrementa para soportar las corrientes armónicas "triplen" circulantes. Por la misma razón se dobla el conductor neutro.
- b.- Se diseña el núcleo magnético con una menor densidad de flujo normal, utilizando acero de mayor grado, y
- c.- Utilizando conductores secundarios aislados de menor calibre, devanados en paralelo y transpuestos para reducir el calentamiento por el efecto piel. El factor K se puede encontrar mediante un análisis armónico de la corriente de la carga o del contenido armónico estimado de la misma. La ecuación que lo define es:

Con el valor del factor K de la corriente de la carga, se puede escoger el transformador adecuado. La Tabla 5.2 muestra los valores comerciales de transformadores con factor K

$$\text{factor K} = \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[I_{h(\text{pu})} \right]^2 h^2 \quad (5.3)$$

Donde:

h = armónica

$I_{h(\text{pu})}$ = corriente armónica en pu tomando como base la corriente Irms

En esta misma referencia se puede encontrar una lista del factor K estimado de un buen número de cargas no lineales comunes

Tabla 5.2 Transformadores con factor K disponibles comercialmente

K- 4
K- 9
K- 13
K- 20
K- 30
K- 40

5.3.3 Efecto en interruptores (circuit breakers): los fusibles e interruptores termomagnéticos operan por el calentamiento producido por el valor rms de la corriente, por lo que protegen de manera efectiva a los conductores de fase y al equipo contra sobrecargas por corrientes armónicas. Por otro lado, la capacidad interruptiva no se ve afectada por las componentes armónicas en los sistemas eléctricos puesto que durante condiciones de falla, las fuentes que contribuyen a la misma son de frecuencia fundamental.

5.3.4 Efecto en las barras de neutros: dado que este es el primer punto de unión de los neutros de las cargas monofásicas, en el caso balanceado, las corrientes (fundamentales y armónicas) de secuencia positiva y negativa se cancelan aquí. Estas barras pueden llegar a sobrecargarse por el efecto de cancelación de las componentes armónicas de secuencia positiva y negativa entre los conductores neutros que sirven diferentes cargas. En el caso de corrientes armónicas de secuencia cero (armónicas “triplen”), estas no se cancelarán en el neutro aun con condiciones balanceadas, por lo que estas barras se pueden sobrecargar por el flujo de estas corrientes. En la realidad, las barras de neutros transportan corrientes de secuencia positiva y negativa producidas por el desbalance de cargas más las armónicas “triplen” de secuencia cero generadas por éstas. Por esta razón las barras que están dimensionadas para soportar la misma corriente de fase pueden sobrecargarse fácilmente en presencia de cargas no lineales. En el caso de que se estén alimentando cargas no lineales, es recomendable que las barras de neutros tengan una capacidad de corriente igual al doble de la de las fases.

5.3.5 Efecto en los bancos de capacitores: el principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia tanto serie como paralelo, como se muestra en la Figura 5. 2. A medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye. Existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.

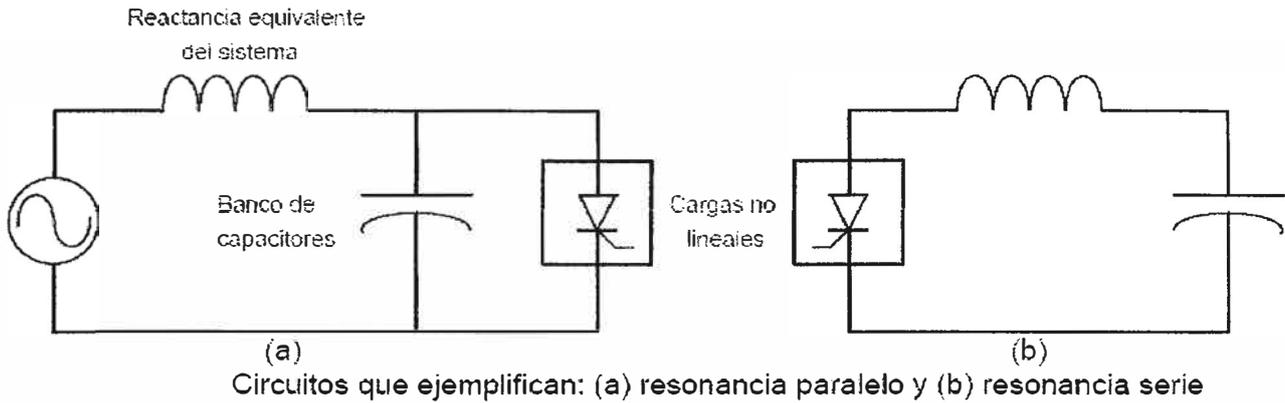
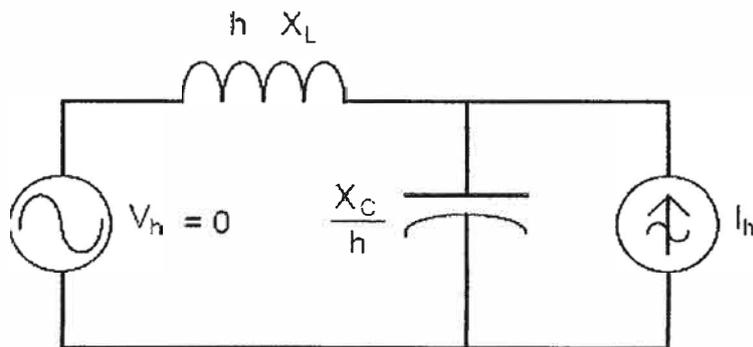


Figura 5.2 Resonancia en serie y Paralelo

a.- Resonancia paralelo: la Figura 5.2 (a) muestra el circuito equivalente para el análisis de la resonancia paralelo en un sistema eléctrico. La carga no lineal inyecta al sistema corrientes armónicas, por lo que el efecto de dichas corrientes se puede analizar empleando el principio de superposición como se observa en la Figura 5.3. De esta manera, el circuito equivalente a distintas frecuencias se puede dibujar como:



X_L = reactancia inductiva a frecuencia fundamental

X_C = reactancia capacitiva a frecuencia fundamental

Figura 5.3 Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencia armónica

En general, la fuente de voltaje V_h vale cero (cortos circuitos), puesto que sólo presenta voltaje a frecuencia fundamental. Entonces a frecuencias armónicas, el circuito equivalente visto por la carga (fuente de corrientes armónicas) será una inductancia y capacitancia en paralelo, por lo que la frecuencia de resonancia se tendrá cuando:

$$f = f_1 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (5.4)$$

Donde:

f_1 = frecuencia fundamental

Si la carga inyecta una corriente armónica de una frecuencia igual o cercana a la frecuencia de resonancia paralela del sistema, entonces las corrientes y voltajes experimentarán una amplificación puesto que la admitancia equivalente se acerca a cero (impedancia muy alta). Esto produce los problemas de calentamiento inherentes a las corrientes armónicas (en cables, transformadores, interruptores), la operación de fusibles, y el posible daño o envejecimiento prematuro de equipo.

b.- Resonancia Serie: esta resulta en un circuito como el mostrado en la Figura 2 (b). En este caso la expresión matemática de la frecuencia de resonancia es la misma que muestra la ecuación (4), la diferencia es que ahora el circuito presenta una trayectoria de baja impedancia a las corrientes armónicas (casi un corto circuito). Esta resonancia causará problemas similares a los que se tienen en el caso de la resonancia paralelo. Una forma de minimizar los problemas de resonancia por la instalación de bancos de capacitores consiste en distribuir los mismos en diferentes puntos del sistema, para alejar la frecuencia de resonancia a valores más altos. También es importante considerar que los capacitores se deben conectar en delta y/o estrella no aterrizada (para evitar atraer las armónicas “triplen”) en sistemas menores a 69 kV .

5.3.6 Efecto en los motores de inducción: fundamentalmente, las armónicas producen los siguientes efectos en las máquinas de corriente alterna: un aumento en sus pérdidas y la disminución en el torque generado. Este ha sido el tema de análisis de muchos artículos por su importancia en la industria y a continuación se mostrará un estudio simplificado de estos efectos en base a las referencias citadas.

a.- Pérdidas en los motores de inducción: si el voltaje que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces se incrementarán sus pérdidas $I^2 R$ en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (eddy e histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas. En forma más detallada, tenemos el siguiente análisis de las pérdidas.

1. Pérdidas $I^2 R$ en el estator: según IEEE, las pérdidas en el estator son determinadas utilizando la resistencia a corriente directa de la máquina, corregida a la temperatura especificada. Al operar la máquina de inducción con voltajes con contenido armónico no sólo aumentan estas pérdidas por el efecto piel que incrementa el valor de la resistencia efectiva, sino que también aumenta el valor de la corriente de magnetización, incrementándose aún más las pérdidas $I^2 R$.
2. Pérdidas $I^2 R$ en el rotor: éstas aumentan de manera más significativa que las anteriores, por el diseño de la jaula en los motores de inducción que se basa en el aprovechamiento del efecto piel para el arranque. Esta resistencia aumenta en forma

proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y por ende las pérdidas.

3. Pérdidas de núcleo: estas pérdidas son función de la densidad de flujo en la máquina. Éstas aumentan con excitación de voltaje no senoidal puesto que se tienen densidades de flujo pico más elevadas, sin embargo su aumento es aún menor que el de las pérdidas mencionadas anteriormente e incluso son más difíciles de cuantificar.
4. Pérdidas adicionales: son muy difíciles de cuantificar aun bajo condiciones de voltaje senoidal. Al aplicar voltaje no senoidal, éstas aumentan en forma particular para cada máquina.

b.- Torque en el motor de inducción: las armónicas de secuencia positiva producen en el motor de inducción un torque en el mismo sentido de la dirección de rotación, en tanto que las de secuencia negativa tienen el efecto opuesto. En caso de que se tenga conectado el neutro, el par producido por las armónicas “triples” es igual a cero. Dependiendo del contenido armónico del voltaje aplicado, el par promedio de operación puede verse disminuido considerablemente, sin embargo en la mayoría de los casos el efecto producido por las armónicas de secuencia negativa se cancela con el efecto de las de secuencia positiva, por lo que su efecto neto en el par promedio puede desprejarse. La interacción de las corrientes armónicas del rotor con el flujo en el entrehierro de otra armónica resultan torques pulsantes en los motores, los que pueden afectar la calidad del producto donde las cargas de los motores son sensibles a estas variaciones. Estos torques pulsantes también pueden excitar una frecuencia de resonancia mecánica lo que resultaría en oscilaciones que pueden causar fatiga de la flecha y otras partes mecánicas conectadas. Por lo general la magnitud de estos torques es generalmente pequeña y su valor promedio es cero.

5.3.7 Efectos en otros equipos: equipos electrónicos sensitivos son susceptible a operación incorrecta a causa de las armónicas. En algunos casos estos equipos dependen de la determinación precisa del cruce por cero del voltaje u otros aspectos de la forma de onda del mismo, por lo que condiciones de distorsión pueden afectar su operación adecuada. En lo que respecta a equipo de medición e instrumentación éstos son afectados por las componentes armónicas, principalmente si se tienen condiciones de resonancia que causen altos voltajes armónicos en los circuitos. Para el caso de medidores se pueden tener errores positivos o negativos, dependiendo del tipo de medidor y de las armónicas involucradas.

5.4 Orden y amplitud de las componentes armónicas

En el nivel de distribución y/o utilización se destacan las siguientes cargas generadoras de armónicos [1] [3]:

- Lámparas de descarga (Fluorescentes, vapor de mercurio, sodio o mixtas).

- Diversos equipos electrodomésticos.
- Fuentes conectadas al sistema principal.
- Sistema non breaks ó UPS.

A continuación se presentan una ilustración de las principales fuentes de armónicos encontradas en el ambiente comercial y residencial.

De una forma general las cargas trifásicas y los equipos electrónicos que producen armónicos están asociados a los enclavamientos estáticos tales como: Inversores, variadores de frecuencia, rectificadores etc. Las órdenes son definidos por:

$N = 5, 7, 11, 13, 17, 19, \text{ etc...}$ Incluye todas las armónicas impares excepto los múltiplos de 3.

En cuanto a las cargas monofásicas las fuentes conectadas están generando los armónicos del siguiente orden:

$N = 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, \text{ etc...}$ Estos equipos son los siguientes:

- Computares personales.
- Lámparas fluorescentes.
- Aparatos electro domésticos y de escritorio.
- Emisoras de radio, Tv, salas de control de proceso.

5.5 Armónicos triples

Es importante resaltar sobre la particularidad de la tercera armónica (180 Hz.) y sus múltiplos que se hallan presentes en casi todas las formas de onda y con una magnitud realmente significativa.

La presencia del tercer armónico y sus múltiplos frente a la secuencia cero pueden causar sobrecargas en el conductor neutro en redes eléctricas donde están presentes las cargas no lineales tales como computadoras, sistemas de iluminación conectados entre fase y neutro.

En la figura 5.4 mostrada (cargas 1ϕ) se puede visualizar la presencia del tercer armónico. La circulación de la corriente por el conductor neutro puede causar los siguientes problemas:

- La sobrecarga en el conductor neutro puede llegar hasta el 175 % fase.
- Interferencia telefónica.
- Mala operación de los equipos conectados entre neutro y fase debido a las distorsiones de la tensión producido por los armónicos triples.

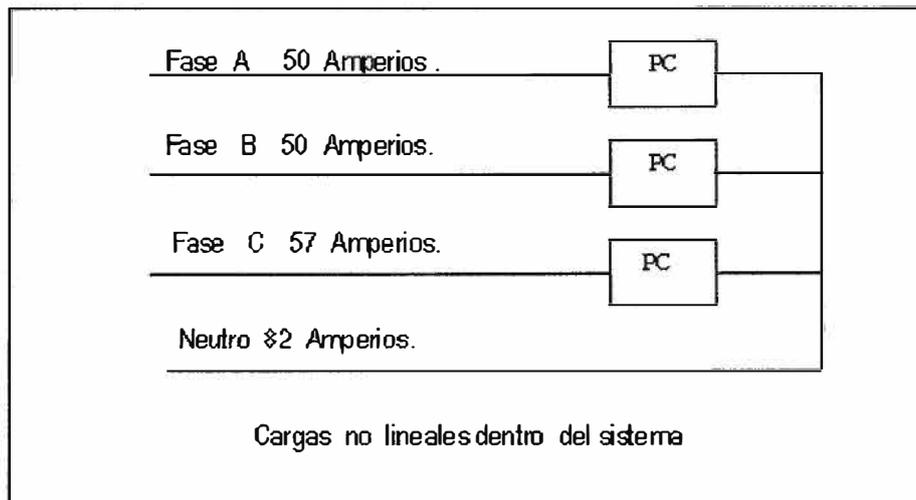


Figura 5.4 Presencia del tercer armónico, resultante por la conductor neutro

Los problemas antes mencionados pueden ser atenuados implementando a su sistema las siguientes recomendaciones:

- Aumento de la sección del conductor neutro.
- Instalación de un conductor neutro para cada fase.
- Instalación de un conductor adicional al neutro en paralelo.
- Instalación de un filtro de armónicos de secuencia cero junto a cada carga.
- Instalación de transformadores aisladores.

Los transformadores conectados estrella – delta, ver Figura 5.5:

- Las corrientes de secuencia cero fluyen a través del neutro (estrella) que está conectado al sistema de aterramiento.
- Mientras en el delta las corrientes se hallan circulando en los arrollamientos.

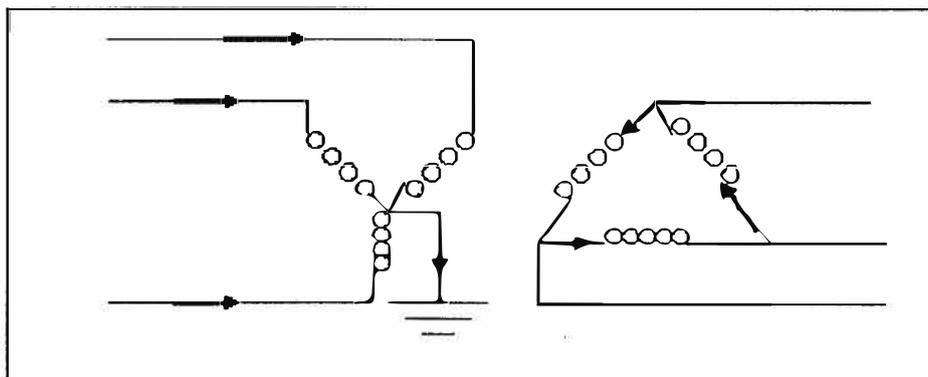


Figura 5.5 Transformadores conectados estrella – delta

Los transformadores conectados estrella – estrella los armónicos triples fluirán del lado de baja tensión hacia el lado de alta habiendo de esta forma armónicos en ambos lados del transformador. Las implicaciones más importantes son:

- Los arrollamientos son susceptibles al sobre calentamiento.
- Utilizando transformadores aisladores con conexión apropiada es posible de reducir el nivel de la corriente de secuencia cero (armónicos triples).

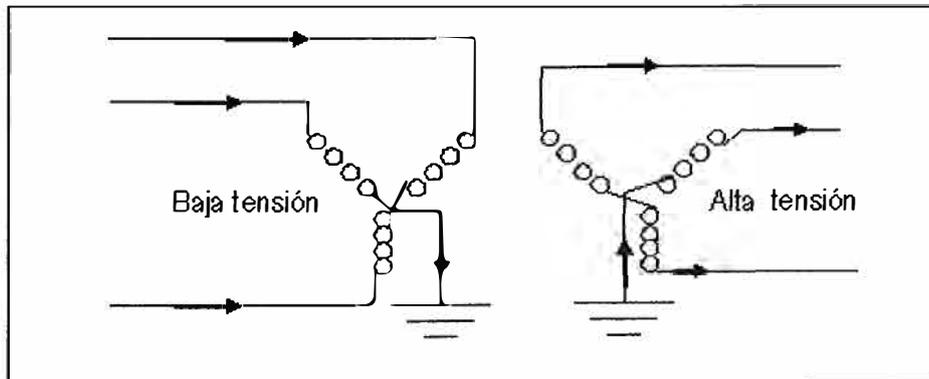


Figura 5.6 Transformadores conectados estrella – estrella

5.5.1 Efectos provocados por las terceras armónicas.

Los niveles de las corrientes provocados por éstas armónicas pueden provocar el mal funcionamiento de las cargas como son las computadores y otras cargas no lineales.

Tabla 5.3 Efectos negativos encontrados en los equipos normalmente utilizados en predios comerciales

Equipos	Efectos
No - break	La DTH provoca mal funcionamiento en las desconexiones.
Electrónicos	- Las distorsiones de tensión y corriente provocan mal funcionamiento de PCs, hardwars, y comunicación en red de datos. - La distorsión de tensión , puede provocar el bloqueo de las PCs.
Conductores	- Sobre calentamiento del conductor neutro. - La presencia de ruidos eléctricos intermitentes. - Presencia de alta tensión entre neutro y tierra.
Fusibles	ó disyuntores – Operación falsa de éstos aparatos.
Transformador	Mayores pérdidas en el cobre y en el fierro. Se producen también mayores fugas magnéticas.

5.5.2 Como corregir los problemas provocados por la tercera armónica

Existen problemas dentro del sistema eléctrico cuando:

- $I_{\text{neutro}} \geq (1/3) I_{\text{nominal}}$
- Presencia de ruido cuando la tensión sobrepasa 2 Voltios.

Para afrontar este problema se recomienda realizar los siguientes análisis:

- Hacer un listado de los síntomas del problema.
- Verifique que la tensión $V_{\text{neutro - tierra}} \leq 2$ Voltios. En caso de ser mayor probablemente el problema se deba al tercer armónico.
- Mida los niveles de tensión y corriente en los paneles de distribución y/o utilice un medidor de armónicos y realice las mediciones y análisis correspondiente.
- Confeccione un cuadro estadístico que le sirva de control.

[1] 68] [8]

CAPITULO VI

NORMATIVIDAD

6.1 Generalidades

Las Normas sobre la Calidad de la Energía Sirven de guía, de recomendación y de límites para asegurar la compatibilidad entre los equipos empleados por los usuarios y los sistemas de alimentación donde se aplican.

El desarrollo de normativas internacionales están a cargo de la IEC, que definió las denominadas Normas de Compatibilidad Electromagnética (EMC) que cubren los problemas de Calidad de la Energía y las posibles interferencias con los equipos finales. La IEC ha abordado el tema de la Calidad de Potencia (Power Quality) con la publicación de una serie de documentos, pero el que fungió principalmente en la década de los 80 fue la serie IEC-555 publicada en el año de 1982 la cual se enfocaba a limitar los niveles de Armónicos y Flicker a nivel de la carga. También estuvo la IEC 868 la cual presentaba la metodología de medición del Flicker.

En el caso de sistemas de alumbrado $P < 25W$ la norma permite el cumplimiento de uno de los siguientes criterios:

- El cumplimiento de los límites armónicos de corriente (relativos a la potencia) impuestos para la clase D.
- El 3er armónico de corriente no debe sobrepasar el 86% del fundamental ni el 5º el 61%. Además la forma de onda de corriente debe empezar antes de 60º de la tensión de red y no dejar de fluir antes de 90º y su último pico (si hubiera varios) antes de 65º. Ver Tabla 6.1

Las normativas sobre la performance incluyen, como mínimo, los siguientes aspectos.

- Interrupciones
- Picos de Tensión
- Regulación de Estados instantáneos de Tensión
- Desbalance de Tensiones
- Distorsiones Armónicas en la Tensión
- Transitorios de Tensión

Tabla 6.1 Límites armónicos impuestos por la norma IEC 61000-3-2 Clase C
(Equipos de Iluminación)

Orden de Armónicos	Corriente Armónica máxima admisible expresada en porcentaje de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental %
	2
3	$30\lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

* λ es el factor de potencia del circuito

Nuestro país cuenta con una reglamentación no tan específica para las distorsiones presentadas en los diferentes niveles de tensión. Recién el 11/ 10/ 97 el gobierno peruano mediante el MEM ha dado el DS N° 020 – 97 EM (NORMA TECNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELECTRICOS).

6.2 Calidad de Tensión

6.2.1 Disposiciones de la NTCSE

La Norma Peruana en lo referente a la calidad de la tensión establece lo siguiente:

- **Indicador De Calidad.** El indicador para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración, es la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) del mismo punto. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N * 100\%; \text{ (expresada en: \%)} \quad (6.1)$$

- **Tolerancias.** Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, son de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos. Tratándose de redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta el $\pm 7.5\%$. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición.
- En cada Período de Medición, los valores instantáneos de la tensión son medidos y promediados por intervalos de quince (15) minutos. [6] [7] [8]

Tabla 6.2 Comparación de la NTCSE para tensión con otras Normas Internacionales

CARACTERÍSTICA	PERU	COLOMBIA	CHILE	ARGENTINA	HOLANDA
Baja Tensión	$T \leq 1 \text{ kV}$	$T \leq 1 \text{ kV}$	$T \leq 1 \text{ kV}$	$T \leq 1 \text{ kV}$	$T \leq 1 \text{ kV}$
Media Tensión	$1 \text{ kV} < T \leq 30 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < T \leq 60 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < T \leq 23 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < T < 66 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < T \leq 35 \text{ kV}$
Alta Tensión	$30 \text{ kV} < T \leq 100 \text{ kV}$	$60 \text{ kV} < T \leq 230 \text{ kV}$	$23 \text{ kV} < T < 500 \text{ kV}$	$T \geq 66 \text{ kV}$	$T \geq 110 \text{ kV}$
Muy Alta tensión	$T > 100 \text{ kV}$	$T > 230 \text{ kV}$	$T \geq 500 \text{ kV}$		
Holguras permitidas para la tensión nominal					
$T > 100 \text{ kV}$	± 5.0	± 10	$\pm 6.0 (T < 154 \text{ kV})$	± 5.0	± 10
$66 \text{ kV} < T \leq 100 \text{ kV}$	± 5.0	$+5 \text{ y } -10$	$\pm 6.0 (T < 154 \text{ kV})$	± 5.0	-----
$30 \text{ kV} < T < 66 \text{ kV}$	± 5.0	$+5 \text{ y } -10$	$\pm 6.0 (T < 154 \text{ kV})$	$\pm 8.0 (\text{Aérea})$	-----
$1 \text{ kV} < T \leq 30 \text{ kV}$	$\pm 5.0 (\text{Urbano})$ $\pm 7.5 (\text{Rural})$	$+5 \text{ y } -10$	$\pm 6.0 (\text{Urbano})$ $\pm 8.0 (\text{Rural})$	$\pm 8.0 (\text{Aérea})$ $\pm 5.0 (\text{Subterránea})$	± 10
$T \leq 1 \text{ kV}$	$\pm 5.0 (\text{Urbano})$ $\pm 7.5 (\text{Rural})$	$+5 \text{ y } -10$	$\pm 7.5 (\text{Urbano})$ $\pm 10 (\text{Rural})$	$\pm 8.0 (\text{Aérea})$ $\pm 5.0 (\text{Subterránea})$	± 10

* Es la Holgura para los circuitos rurales en Argentina

** Valor para tensiones de 500 kV.

6.3 Calidad de Flicker

6.3.1 Disposiciones de la NTCSE

La Norma Peruana en lo referente a la calidad de producto en cuanto a Flícker establece lo siguiente:

- El Flícker se mide en el voltaje de *Puntos de Acoplamiento Común (PAC)* del sistema, de puntos indicados explícitamente en la Norma o de otros que especifique la Autoridad en su oportunidad.
- El indicador de la calidad para Flícker es el índice de severidad por Flícker de corta duración (P_{st}) de acuerdo a las Normas IEC.
- Este indicador (P_{st}) se evalúa separadamente para cada intervalo de medición de Diez minutos durante un Período de Medición de Perturbaciones, que como mínimo será de siete días calendario continuos.
- Tolerancias Para Flícker.- El Índice de Severidad por Flícker (P_{st}) no debe superar la unidad ($P_{st} \leq 1$) en Alta, Media ni Baja Tensión. Se considera el límite: $P_{st}'=1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población. [6] [7] [8]

6.4 Calidad de Armónicos

6.4.1 Disposiciones de la NTCSE

La Norma Peruana en lo referente a la calidad de producto en cuanto a Armónicos establece lo siguiente:

- Las Armónicas se miden en el voltaje de *Puntos de acoplamiento Común (PAC)* del sistema, de puntos indicados explícitamente en la Norma o de otros que especifique la Autoridad en su oportunidad.
- En cuanto a los indicadores de la calidad se consideran Las Tensiones Armónicas

Individuales (V_i) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD). Estos se evalúan separadamente para cada Intervalo de Medición (diez minutos) durante un Período de Medición de perturbaciones, que como mínimo será de siete días calendario continuo.

- Tensiones Armónicas.- Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') indicados en la siguiente tabla 6.1. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2º) y la cuarenta (40º), ambas inclusive.

Tabla 6.3 Comparación de la NTCSE para Flicker con Normas Internacionales

CARACTERÍSTICA	PERU	COLOMBIA	CHILE	ARGENTINA	HOLANDA
Indicadores	Índice de severidad de corta duración, P_{st} (IEC 868-0).	No hay indicador numérico.	Índice de severidad de corta duración, P_{st} . Índice de severidad de larga duración $P_{st,L}$. Definidos según Norma IEC.	Índice de severidad de corta duración, P_{st} . Índice de severidad de larga duración $P_{st,L}$. Definidos según Norma IEC.	Índice de severidad de corta duración, P_{st} (EN 50180). Índice de severidad de larga duración $P_{st,L}$ (EN 50180).
Intervalo de medición.	Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos)	No define periodo de medición.	Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos)		Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos) para P_{st} . El $P_{st,L}$ se calcula para intervalos de 2 horas.
Holguras permitidas para el THD (%).					
$T \geq 100$ kV	$P_{st} \leq 1.0$	----- =	$P_{st} \leq 0.8, P_{st,L} \leq 1.0^{**}$ $P_{st,L} \leq 0.6, P_{st} \leq$	$P_{st} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 0.6, P_{st,L} \leq 0.8$
66 kV $< T \leq 100$ kV	$P_{st} \leq 1.0$	----- =	$P_{st} \leq 0.8, P_{st,L} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1.0$	-----
30 kV $< T < 66$ kV	$P_{st} \leq 1.0$	----- =	$P_{st} \leq 0.8, P_{st,L} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1.0$	-----
1 kV $< T \leq 30$ kV	$P_{st} \leq 1.0$	----- =	$P_{st} \leq 0.8, P_{st,L} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1, P_{st,L}$ no define
$T \leq 1$ kV	$P_{st} \leq 1.0$	----- =	$P_{st} \leq 0.8, P_{st,L} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1.0$	$P_{st} \leq 1, P_{st,L}$ no define

* Valor para tensiones menores o iguales a 110 kV.

** Valor para tensiones superiores a 110 kV.

= Se rige a la Norma IEEE 519 – 1992. Numeral 10.5 de obligatorio cumplimiento de acuerdo con CREG 070-98.

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) está definido como:

$$THD = \left(\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) \cdot 100\% \quad (6.2)$$

Donde:

V_i - Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" (para $i=2... 40$) expresada en Voltios.

V_N - Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios

Los índices de la norma NTCSE son extractados de la norma IEC- 1000-3-6 cuya versión vigente tiene una modificación para los armónicos mayores de 25, así:

- Para media y baja tensión: $0.2+1.3(25/n)$
- Para alta y muy tensión: $0.2+0.5(25/n)$

Esto permitirá tener continuidad en los índices tolerables. Vale la pena aclarar que estos índices son muy inferiores a los exigidos por la norma IEEE-519. [6] [7] [8]

Tabla 6.4: Límites para Armónicos Individuales de Tensión y THD

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA	
	Vi ó THD	
	(% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
Mayores de 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 12.5/n$
(Armónicas impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

Tabla 6.5 Comparación de la NTCSE en armónicos con otras Normas Internacionales

CARACTERÍSTICA	PERU	COLOMBIA	CHILE	ARGENTINA	HOLANDA
Indicadores	Tensión armónica individual (V_i). Factor de distorsión de armónicos individuales.	De acuerdo con la carga: Factor de distorsión de armónicos individuales. Factor de distorsión de armónica de corriente.	Tensión armónica individual. Factor de distorsión de armónicos individuales. Indice de distorsión total para corriente. Distorsión de armónica de corriente.	Tensión armónica individual. Factor de distorsión de armónicos individuales.	Tensión armónica individual. Factor de distorsión de armónicos individuales.
Intervalo de medición.	Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos)	Para el THD es de 1 hora en condiciones de demanda. Para el TOD es de 15 o 30 minutos de demanda.	Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos)		Es de 10 minutos por periodo de medición (7 días consecutivos)
Hoíuras permitidas para el THD (%).					
$T > 100 \text{ kV}$	3.00%	2.50% 1.5% ^b	3.00%	3.00%	2% ^{**}
$66 \text{ kV} < T \leq 100 \text{ kV}$	3.00%	2.50%	8.00%	3.00%	-----
$30 \text{ kV} < T < 66 \text{ kV}$	3.00%	5.00%	8.00%	8.00%	-----
$1 \text{ kV} < T \leq 30 \text{ kV}$	8.00%	5.00%	8.00%	8.00%	8.00%
$T \leq 1 \text{ kV}$	8.00%	5.00%	8.00%	8.00%	8.00%

* Valor para tensiones superiores a 169 kV.

** Valor para Inglaterra en tensión de 275 kV

6.5 Calidad de Frecuencia

6.5.1 Disposiciones de la NTCSE

Para evaluar el parámetro frecuencia la Norma NTCSE considera tres índices:

- Variaciones sostenidas - Δf_k
- Variaciones súbitas - VSF
- Integral de variaciones diarias de frecuencia – IVDF

Las definiciones corresponden a:

$$\Delta f_k = \frac{f_k - f_N}{f_N} * 100 \quad (6.3)$$

$$VSF = \left[\frac{1}{1 \text{ min.}} \int f^2(t) dt \right] - f_N \quad (6.4)$$

$$IVDF = \Gamma + \int_0^{24} [f(t) - f_N] dt \quad (6.5)$$

Donde:

- f_k : Valor instantáneo de frecuencia, medido en un punto cualquiera de la red, en un intervalo de medición k de quince (15) minutos
- f_N : Valor de frecuencia Nominal del sistema (60Hz.)

Γ Es la suma algebraica de los valores de la integral que aparecê como segundo término, para cada uno de los días del año calendario, anteriores al día en que se evalúa la IDVF

Las tolerancias permitidas para cada índice son:

Variaciones sostenidas - $\Delta f_k = \pm 0.6\%$

Variaciones súbitas - $VSF = \pm 1$ Hz

Integral de variaciones diarias de frecuencia - $IVDF = 600$ ciclos

Se considera que la electricidad es de mala calidad en los siguientes tres casos:

- Si las variaciones sostenidas de frecuencia se encuentran fuera del rango permitido por un tiempo acumulado superior al 3% del periodo de medición
- Si en un período de medición se produce más de una variación súbita
- Si en un período de medición se producen violaciones a la integral de variaciones diarias de frecuencia

El período de medición es de un mes calendario coincidiendo con el período de control.

[6] [7] [8]

6.5.2 Comparación

En el cuadro siguiente se presenta un resumen de los rangos permitidos para la variación sostenida de frecuencia en los diferentes países.

Tabla 6.6 Tolerancia de Frecuencias Comparado con Otros Países

PAIS	Frecuencia (Hz)	Tolerancia (%)
Perú	60	+ 0.6 % durante 97% del periodo de medición
Colombia	60	+0.33% en condiciones de operación normal
Chile	50	+ 0.4 % durante 99% del periodo de medición + 1.4% durante 0.5 % del periodo de medición*
Argentina	50	0.20%
Holanda	50	+1 % durante 95% del periodo de medición -8 y +4 % durante 100% del periodo de medición

6.6 Limites dados por otras Normas

6.6.2 Norma Europea - EN50160

Esta norma resguarda las características de la tensión con relación a la frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría en el punto de entrega al consumidor.

El valor medio de las variaciones de tensión de alimentación durante 10 minutos debe de estar dentro del siguiente intervalo: $230 \text{ V rms} \pm 10 \%$ (207 a 253 V rms.). [6] [7] [8]

6.6.3 NORMA IEEE 519

El aspecto fundamental e innovador de ésta norma es:

- Se concentra en la responsabilidad del problema de los armónicos entre el consumidor y los concesionarios.
- Así mismo el control de la responsabilidad de la generación de armónicos que es atribuida al consumidor en el PAC (punto de acoplamiento común).
- Los índices de calidad de armónicos deben indicar la severidad con sus efectos.

Tabla 6.7 Valores de tensiones armónicas en porcentaje de la tensión nominal.

Armónicas Impares				Armónicas pares	
No múltiplos de tres		Múltiplos de tres			
Orden H	Vn/V1 %	Orden H	Vn/V1 %	Orden H	Vn/V1 %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15, 21	0.5	6...24	0.5
13	3				
17	2				
19, 23, 25	1.5				

Tabla 6.8 Límites de distorsión de la tensión recomendados por la IEEE 519.

Tensión en el PAC	Distorsión individual de tensión (%)	Distorsión total de tensión (%)
< de 69 Kv	3	5
69 - 138 Kv	1.5	2.5
> 138 Kv	1	1.5

La tabla 6.11 no contempla los valores de distorsión armónica aceptables en condiciones anormales de operación de corta duración como son: El arranque de motores de inducción y/o maniobras del sistema.

La tabla 6.12 indica los límites de distorsión de corriente para tensiones < 69 Kv.

Estos valores han sido obtenidos de tal manera que los niveles de distorsión de tensión no exceda la tabla N°4.

Tabla 6.12 Norma IEEE 519 para los límites de distorsión de corrientes

Generadas por las cargas no lineales. [3] [6] [7] [8]

6.6.4 NORMA IEC 555

Esta norma es el documento más completo existente para el establecimiento de límites de las armónicas generadas por los equipos de baja potencia.

Su objetivo principal es limitar la emisión de armónicos por equipos electrónicos.

Esta norma es aplicada de forma más apropiada a grandes consumidores comerciales e industriales del sistema eléctrico.

Tabla 6.9 Porcentaje máximo de las componentes armónicas impares de corriente en Relación a la fundamental.

Isc / I L	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD
< 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 - 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 - 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 - 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Los armónicos pares son limitados en 25 % de los límites indicados para los impares.

Isc Corriente de corto circuito máxima en el punto de conexión del usuario.
I L Corriente media de carga en condición de máxima demanda en el punto de conexión.
TDD Distorsión demanda total de la corriente armónica en porcentaje de la carga máxima.

Tabla 6.10 Clases de equipos eléctricos definidas por la norma IEC 555 parte 2.

Clase	Equipos eléctricos.
A	Trifásicos balanceados excepto los mencionados en B, C y D.
B	Herramientas portátiles
C	Equipos de iluminación.
D	Equipos cuya corriente de entrada posee una forma especial y una potencia activa menor de 600 vatios.

Esta norma en su parte 2 limita las corrientes armónicas individuales por categoría de equipos con corrientes nominales de hasta 16 A ó aprox. 3.5 KVA (220 Volt.) y 7 KVA (440 Volt.). Tal como se presenta en la tabla N° 6.

La tabla 6.14 propone límites a cada componente armónica individual. Los límites son aplicados a la categoría de equipos eléctricos clase D para potencias limitadas.

Tabla 6.14 Límites propuestos por la IEC 555-2 para los equipos eléctricos de la clase D para potencias (50 Vatios < P < 600 Vatios).

Armónico de orden (n)	Límites relativos (miliamperios / vatios)	Límites absolutos Amperios
3	3.4	2.3
5	1.9	1.14
7	1	0.77
9	0.5	0.4
11	0.35	0.33
≥ 31	Interpolación lineal 3.85 / n	0.15 (15 / n)

Esta norma no es muy aplicable a medios y grandes consumidores comerciales ó Industriales del sistema eléctrico.

La norma IEC 555- 4 está en elaboración para medios y grandes clientes, imponiendo límites para equipos por encima de 16 Amperios de corriente nominal.

De esta manera la norma IEC 555-4 será muy similar a la IEEE 519 que es aplicada a consumidores de gran potencia. [3] [6] [7] [8]

6.6.5 NORMA IEC 1000

Es la referencia mundial para la medición de los niveles de armónicos en los sistemas de distribución para indicar el grado de distorsión armónica de la tensión presente en los sistemas eléctricos. No son especificados los límites para corrientes y la norma define tres clases de niveles de compatibilidad aplicables en B.T. y M.T.

- Clase 1 Para equipos muy sensibles a disturbios.
- Clase 2 Para componentes de redes públicas.
- Clase 3 Para sistemas industriales y cargas exclusivamente alimentadas por convertidores estáticos y dinámicos. [3] [6] [7] [8]

Tabla 6.15 Límites de distorsión de tensión aplicables a BT y MT.

Niveles de compatibilidad para armónicos			
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
DHT v	5%	8%	10%

CAPITULO VII

ETAPAS DE LA NORMA DE CALIDAD PERUANA

- Etapa I.- Del 12 – 11 - 97 al 12 – 04 – 99 Nivel informativo.
Etapa II.- Del 12 – 04 - 99 al 12 – 10 – 2000 Compensaciones parciales.
Etapa III.- A partir del 12 – 10 - 2000 Compensaciones según norma.

7.1 Calidad de la Energía Eléctrica

La energía eléctrica que reciben los clientes finales debe cumplir con determinados requisitos que posibilite el correcto empleo de los medios que hacen uso de dicha energía y garantice la seguridad de las personas así como de los equipos y materiales involucrados. La calidad de la energía eléctrica se establece por el cumplimiento de las normas técnicas por parte de todos los involucrados, es decir: Generadores, transmisores, distribuidores, clientes y fabricantes de equipos.

La calidad de la energía eléctrica es tarea de todos. [6] [7] [8]

7.1.1 Objetivo de un sistema eléctrico

Consiste en asegurar el nivel satisfactorio de la presentación de los servicios eléctricos garantizando a los clientes un suministro que cuente con las siguientes características: Continuo, adecuado, confiable, oportuno y de calidad.

7.1.2 Etapas de un sistema eléctrico de potencia SEP.

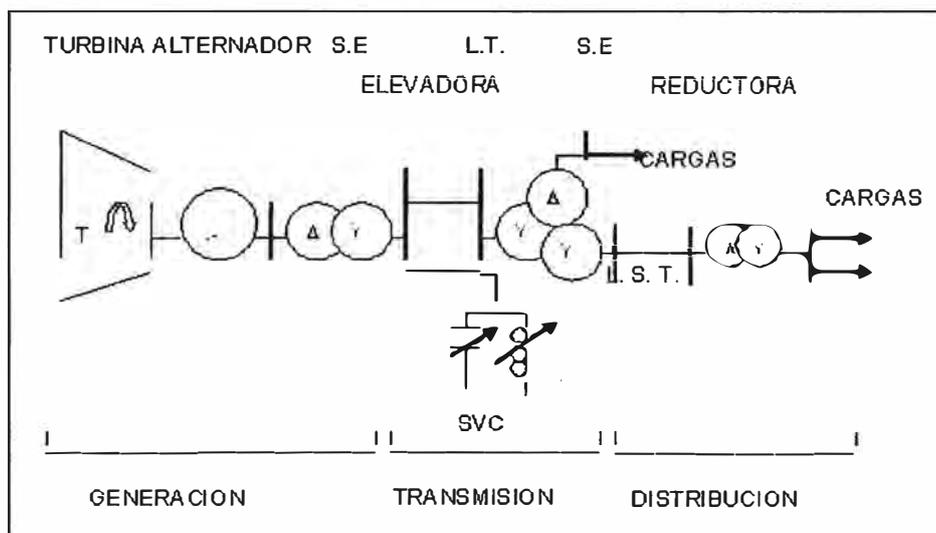
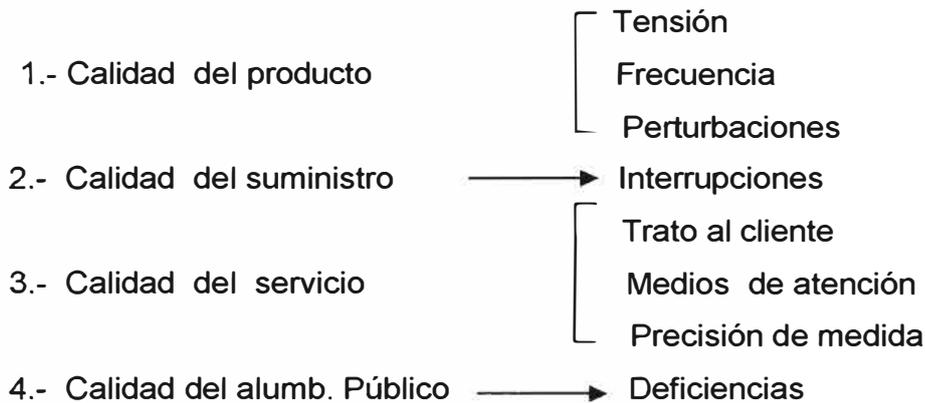


Figura 7.1 Etapas de un SEP Generación – Trasmisión - Distribución

7.2 Calidad de la Energía Eléctrica D.S. N° 020 – 97 - EM



7.2.1 La calidad del producto.- Se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en el punto de entrega.

- El periodo de control es mensual.
- Las mediciones:
 - Equipo de uso individual ó múltiple.
 - Periodo de medición 07 días continuos.
- Intervalos de medición:
 - Tensión y frecuencia: 15 minutos.
 - Perturbaciones: 10 minutos.
 - Variaciones instantáneas de frecuencia: 01 minuto.
- Compensación reactiva - Hasta lograr un F.P. técnico.

a) Calidad de tensión.- Esta definido poor la siguiente expresión.

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_n) / V_n \times 100 \quad (7.1)$$

Donde:

V k: Tensión RMS instantánea

V n: Tensión nominal.

ΔV_k : Indicador de calidad en tanto por ciento.

Tolerancias: Todos los niveles de tensión 5 % de V nominal.

Sistemas rurales 7.5 % de V nominal.

Referido a las redes de BT en los servicios calificados como Urbano rural y rurales.

b) Calidad de la frecuencia.- Esta definido poor la siguiente expresión.

$$\Delta F_k (\%) = (F_k - F_n) / F_n \times 100 \quad (7.3)$$

Donde:

F_k Valores instantáneos de la frecuencia.

F_n Frecuencia nominal.

ΔF_k indicador de calidad en tanto por ciento.

Adicionalmente se controlan las variaciones súbitas de frecuencia (VSF) por intervalo de un minuto y la integral de variaciones de frecuencia (IVDF).

Tolerancias:	VSF (sostenidas)	$\pm 0.6 \%$.
	VSF (súbitas)	$\pm 1.0 \text{ Hz}$.
	IVDF (diarias)	± 12 ciclos.

7.2.2 Perturbaciones.- Inicialmente solo se controla dos tipos de perturbaciones que son:

Flícker y las tensiones armónicas, los mismos que se miden en los puntos de acoplamiento común (PAC) del sistema.

a) Flícker.- Son molestias visuales producidas en un usuario debido a fluctuaciones en los sistemas de iluminación.

Origen.- Son cambios rápidos de tensión producidos por cargas tales como: Hornos eléctricos, máquinas de soldar, conexión y desconexión de grandes cargas. Estas fluctuaciones y sus correspondientes variaciones de corriente, son responsables de los cambios en la tensión.

IEC 868 1996 evalúa a partir de un modelo del sistema LAMPARA – OJO – CEREBRO.

La evaluación del Flícker se efectúa en base al índice de severidad por flícker de corta duración.

Tolerancia: Máximo = 1 (en AT, MT, BT) umbral de irritabilidad

b) Armónicas.- Cuantificadas por las tensiones armónicas individuales (V_i) y la Distorsión Total armónicas (THD). Este factor de distorsión está definido por:

$$\text{THD} (\%) = \left\{ \sum_{i=2}^{40} (V_i^2 / V_n^2) \right\}^{1/2} \cdot 100 \dots \dots (7.6)$$

Donde:

V_i Es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" ($i = 2 \dots 40$)
Expresado en voltios.

V_n Es la tensión nominal en el punto de medición expresado en voltios.

A continuación presentamos la Tabla N° 7.2 que nos indica los índices permisibles individuales (V_i) y globales (THD). Para efectos de la medición solo se consideran los armónicos 2 hasta el 40 (ambas inclusive).

Tabla N° 7.2.- Límites permisibles de las tolerancias V_i y THD de las armónicas en el punto de medición con respecto a la V nominal.

Orden n	> 60 Kv.	≤ 60 Kv	Orden n	> 60 Kv	≤ 60 Kv	Orden n	> 60 Kv	≤ 60 Kv
5	2	6	3	1.5	5	2	1.5	2
7	2	5	9	1	1.5	4	1	1
11	1.5	3.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	1.5	3	21	0.2	0.2	8	0.2	0.5
17	1	2	>21	0.2	0.2	10	0.2	0.5
19	1	1.5				12	0.2	0.2
23	0.7	1.5				>12	0.2	0.5
25	0.7	1.5						
>25	$0.1+2.5/n$	$0.2+2.5/n$						
THD v	3	5		3	5		3	5

CAPITULO VIII

EXPERENCIA PROFESIONAL EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGIA APLICADO A UN CENTRO COMERCIAL

8.1 Descripción del Equipo

Los analizadores de la serie AR5 son instrumentos de medida programables que miden, calculan y registran en memoria los principales parámetros eléctricos en redes industriales trifásicas. Ver Figura 8.1

Medida, mediante tres entradas de tensión c.a. y tres entradas de intensidad c.a. (a través de pinzas amperimétricas.../ 2 V c.a.), que permiten analizar simultáneamente tensión e intensidad, siempre de las tres fases, además de la frecuencia, de una determinada red. Tal como se muestra en la Figura 8.2

Cálculo, mediante procesador interno que obtiene el resto de parámetros eléctricos: el factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva inductiva y capacitiva de las tres fases, así como las energías activa y reactiva (inductiva y capacitiva).

Registro de los resultados en memoria interna (256 k o 1 Mb según modelo), para su posterior volcado a un ordenador PC. En dicha memoria guarda periódicamente los datos medidos y calculados, con definición entre 1 s y 4 h, programable.

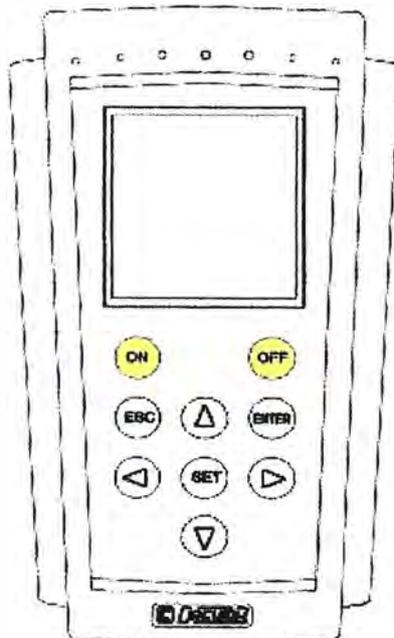


Figura 8.1 Equipo Analizador de Redes AR5

Otras características:

- Mediante su display gráfico de cristal líquido, de 160 x 160 pixels, se puede visualizar los valores instantáneos, máximos y mínimos de cada parámetro y de cada fase.
- Teclado de membrana, con 9 teclas, para la programación y control de las distintas opciones del aparato.

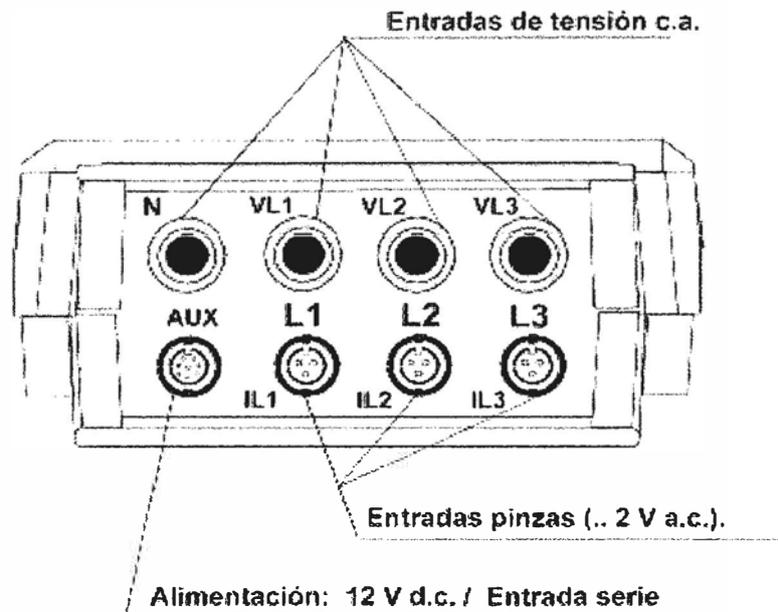


Figura 8.2 Salidas de Conexión para Medidas Tensión y Corriente

8.2 Modalidades de Análisis

Los analizadores de la serie AR5 disponen de un teclado de programación que permite seleccionar, mediante menús, diversos modos de operación y Presentación de resultados.

Como opciones de funcionamiento más destacables se pueden citar:

Modo estándar con medida y registro en memoria de los datos promedio de los principales parámetros eléctricos.

Posibilidad de fijar un umbral de registro, de forma que sólo se almacenarán en memoria los datos para los valores superiores o inferiores al umbral elegido

8.3 Variables Medidas y Calculadas

8.3.1 Valores Simples Instantáneos (L1, L2 y L3).

Tensión simple de las tres fases, valor RMS: V1, V2, V3.

$$V_n = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int u(t)^2 dt} ; \quad V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (u)^2}$$

(8.1)

Intensidad de las tres fases, valor RMS: I1, I2 e I3.

$$I_n = I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i(t)^2 dt} \quad ; \quad [I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_i (i)^2}] \quad (8.2)$$

Potencia Activa de las tres fases: P1, P2 y P3.

$$P_n = \frac{1}{T} \int u(t) \times i(t) \cdot dt \quad ; \quad [P = \frac{1}{N} \cdot \sum_i u \cdot i] \quad (8.3)$$

Cos Fi (de cada fase): PF1, PF2 y PF3.

$$PF_n = \frac{P_n}{I_{rms} \cdot U_{rms}} \quad (8.4)$$

Potencia Reactiva de las tres fases: Q1, Q2 y Q3 (inductiva y capacitiva)

Valor medido con la señal de intensidad desfasada a 90° con respecto la tensión.

$$Q_n = \frac{1}{T} \int u(t) \times i(t + \pi / 2) \cdot dt \quad (8.5)$$

Frecuencia: F (Hz) Se mide sobre la fase de tensión L1.

8.4 Registro en Memoria (forma automática)

El AR5 dispone de un reloj interno, con fecha y hora, que permite programar el registro automático de datos en la memoria interna (tamaño según modelo) a intervalos de tiempo regulares.

La elección del intervalo de las grabaciones y si estas se han de realizar, dependerá de los parámetros que se hayan programado.

8.5 Puesta en marcha del analizador AR5

Esquema de Conexiones:

Antes de conectar el aparato a la red téngase en cuenta los siguientes puntos:

1) Tensión de alimentación red: 230 V c.a. +15 % / -15 %, 50... 60 Hz.

El equipo debe conectarse a un circuito de alimentación con toma de tierra.

2) Tensión máxima en el circuito de medida de tensión:

500 V c.a. fase-neutro.

866 V c.a. entre fases.

A.- Esquema de Conexión Trifásica. Ver Figura 8.3

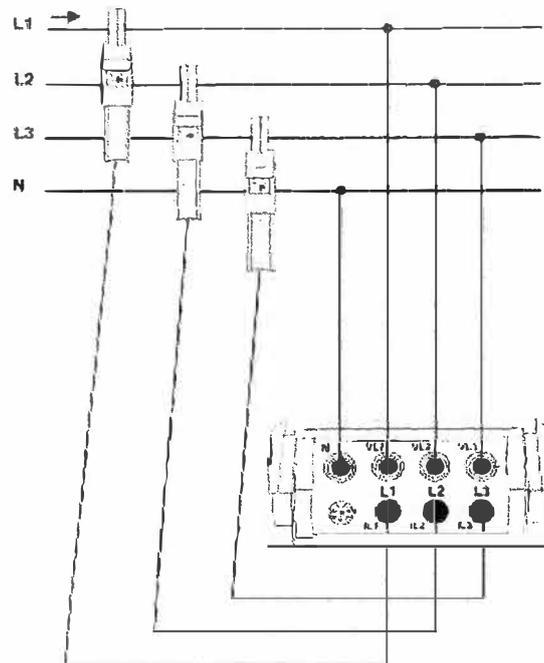


Figura 8.3 (SET ---> SETUP ---> MEASURE ---> CIRCUIT ---> TRIFA)

B.- Esquema de Conexión Aron. Ver Figura 8.4

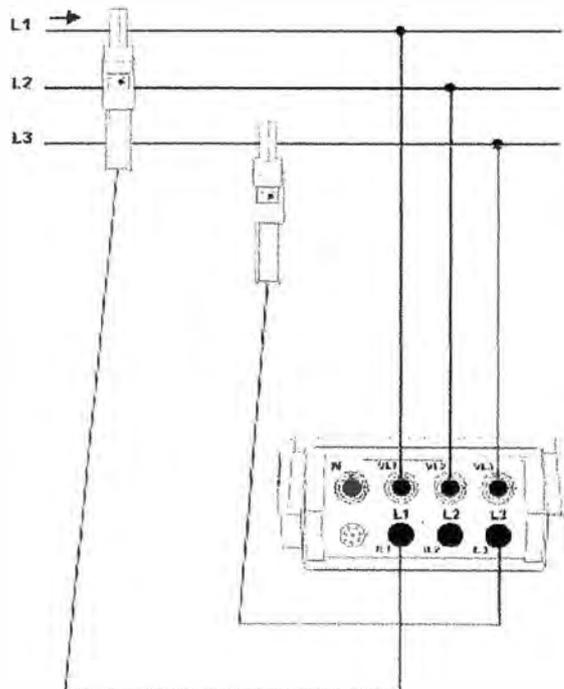


Figura 8.4 (SET ---> SETUP ---> MEASURE ---> CIRCUIT ---> ARON)

8.6 Pantalla de valores Instantáneos.

AR5 ANALYZER				
INST	L1	L2	L3	III
Vp-n	220	221	223	221
A				
kW				
kvarL				
kvarC				
P.F.				
Hz				
kVA				
kWh			0.000	
kvarhL			0.000	
kvarhC			0.000	
25 / 10 / 97 17 : 31 : 29				

Pantalla de valores Instantáneos

Figura 8.5 Esta es la pantalla que aparece al conectar el AR5:

8.6.1 Tensión

Visualiza el valor eficaz instantáneo medido en cada fase (L1, L2 y L3) y el valor promedio de los valores instantáneos de las tres fases (III).

Para la adquisición de la señal de tensión se puede hacer:

- Medida directa (en baja tensión) de 20 hasta 500 V (R.M.S.).

Hasta 500 V c.a. fase-neutro.

Hasta 866 V c.a. entre fases.

- A través de transformadores de tensión (relación programable)

El cambio de escala se efectúa automáticamente. Las unidades empleadas son V o kV según convenga.

Programar la relación de transformación utilizada para que los valores visualizados por display sean correctos. En la medida directa la relación a programar es 1 / 1.

8.6.2 Corriente

Visualiza el valor eficaz instantáneo medido en cada fase (L1, L2 y L3) ver valor promedio de los valores instantáneos de las tres fases (III).

La corriente se puede medir:

a) a través de pinzas amperimétricas

b) a través del secundario de transformadores de intensidad utilizando siempre un shunt de relación 5 A c.a. / 2 V c.a.

Para medir correctamente corriente con el **AR5** es necesario programar la relación de transformación de las pinzas (ó de los transformadores) que se están utilizando. Para ello

hay que programar la corriente nominal del primario; la del secundario está fijada siempre 2 V c.a.

El rango de medida depende de la pinza utilizada. Las unidades de medida siempre son en A.

8.6.3 Potencia activa

A partir de los datos instantáneos de tensión e intensidad se calcula la potencia activa. Visualiza el valor instantáneo de la potencia activa de cada fase y la potencia activa total instantánea trifásica, suma de las tres fases.

8.6.4 Potencia reactiva inductiva

A partir de los datos instantáneos de tensión e intensidad se calcula la potencia reactiva inductiva. Visualiza el valor instantáneo de la potencia reactiva inductiva de cada fase y la potencia reactiva inductiva total instantánea trifásica, suma de las tres fases.

8.6.5 Potencia reactiva capacitiva

A partir de los datos instantáneos de tensión e intensidad se calcula la potencia reactiva capacitiva. Visualiza el valor instantáneo de la potencia reactiva capacitiva de cada fase y la potencia reactiva capacitiva total instantánea trifásica, suma de las tres fases.

8.6.6 Factor de potencia

Visualiza el factor de potencia de cada fase y el valor trifásico.

8.6.7 Frecuencia

Valor instantáneo de la frecuencia (Hz).

8.6.8 Potencia Aparente

Potencia total instantánea trifásica, suma de las tres fases.

8.6.9 Energías:

El valor instantáneo de la energía activa total.

El valor instantáneo de la energía reactiva inductiva total.

El valor instantáneo de la energía reactiva capacitiva total.

8.7 Estudio de Calidad de Energía para la Tienda Curacao

El presente estudio se realizó a fin de evaluar la calidad de servicio eléctrico existente en las instalaciones eléctricas que alimenta al Tienda Curacao Minka, la cual está ubicada en la Av. Argentina N° 3093 / Pab. 3 Galería 1 local 22, Callao.

8.7.1 Descripción de las Instalaciones Eléctricas

El desarrollo del presente informe consiste en la evaluación del consumo eléctrico en baja tensión 220 VAC, sistema trifásico, toma energía del tablero TDP3, alimentado por una subestación biposte de 200KVA, 10/0.24KV. Cuyo concesionario de energía es EDELNOR.

8.7.2 Equipo de Medición Utilizado

Equipo marca CIRCUITOR modelo AR5, trifásico, mide los siguientes parámetros eléctricos:

- Tensión AC trifásica, V_{pp} , V_{pn} .
- Corriente AC trifásica, I_{max} , I_{min} .
- Potencia activa, trifásica, max, min.
- Diagrama de carga.
- Máxima demanda energética.
- Armónicos de tensión hasta el orden 50.
- Armónicos de corriente hasta el orden 50.
- Forma de onda (tensión y corriente).
- Frecuencia eléctrica.
- Factor de potencia inductivo.
- Factor de potencia capacitivo.
- Potencia reactiva trifásica, max, min
- Energía activa trifásica.
- Energía reactiva trifásica.

8.7.4 Mediciones Realizadas

Las mediciones fueron realizadas en el alimentador del tablero general de la tienda CURACAO, el tiempo de medición fue de 24H la fecha 10/04/2008.

En base a ellos se han realizado una trasposición computarizada, para evaluar los niveles de tensión, las distorsiones y presencia de armónicos en tensión y corriente, con la finalidad de determinar la calidad de servicio eléctrico. Así mismo se ha evaluado el consumo de potencia y energía, el factor de potencia y la resistencia de sus pozos a tierra de su sistema, los mismos que deberán mantener siempre un valor por debajo de los 5 ohms.

8.7.5 Análisis

Para la evaluación de los principales parámetros de la calidad de suministro eléctrico, se ha tomado en cuenta los valores registrados por el analizador de red AR5, Marca Circutor, el día 10/04/2008, se tomaron datos con una periodicidad de cada 10 minutos tal como indica las normas peruanas

8.8 Análisis de Parámetros Eléctricos

Analizaremos los Valores Obtenidos para la Tensión y Corriente que se muestra en la Figura 8.6

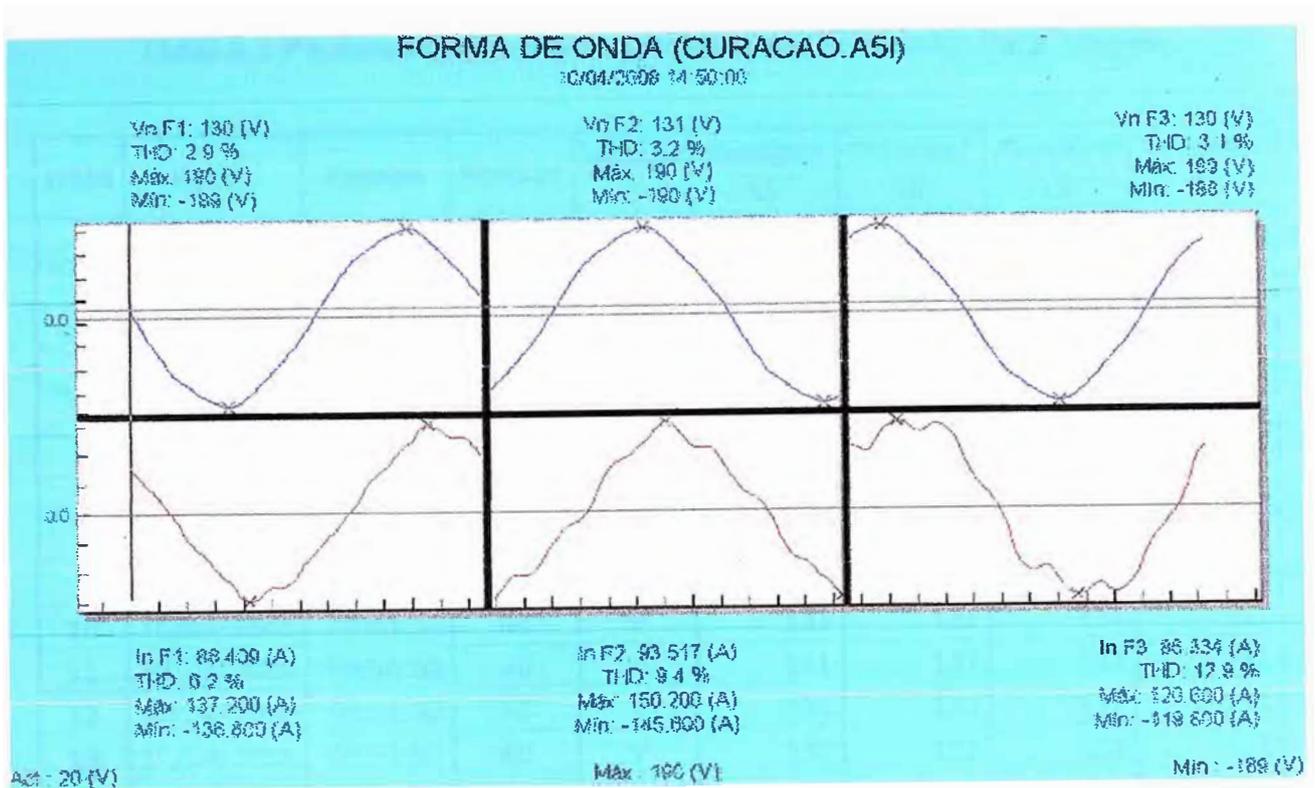


Figura 8.6. Forma de Onda de la Tensión y Corriente, obtenidos del Analizador de Redes

8.8.1 Tensión (VAC)

A continuación se muestra los datos obtenido por el analizador para los niveles de tensión. Ver las Tablas 8.1, 8.2 y 8.3

Tabla 8.1 Parámetros Eléctricos Obtenidos del Analizador Para Tensión

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Unidad V	Tensión/ L1	Tensión/ L2	Tensión/ L3	Tensión/ III
1	10/04/2008	09:40:25	60	V	131	131	131	131
2	10/04/2008	09:41:00	60	V	131	131	131	131
3	10/04/2008	09:42:00	60	V	131	131	131	131
4	10/04/2008	09:43:00	60	V	131	131	131	131
5	10/04/2008	09:44:00	60	V	131	132	131	131
6	10/04/2008	09:45:00	60	V	131	132	131	131
7	10/04/2008	09:46:00	60	V	131	131	131	131
8	10/04/2008	09:47:00	60	V	131	132	131	131
9	10/04/2008	09:48:00	60	V	131	131	131	131
10	10/04/2008	09:49:00	60	V	131	131	131	131
11	10/04/2008	09:50:00	60	V	131	131	131	131
12	10/04/2008	09:51:00	60	V	131	131	131	131
13	10/04/2008	09:52:00	60	V	131	131	131	131
14	10/04/2008	09:53:00	60	V	131	131	131	131
15	10/04/2008	09:54:00	60	V	131	131	131	131
16	10/04/2008	09:55:00	60	V	131	131	131	131
17	10/04/2008	09:56:00	60	V	131	131	131	131
18	10/04/2008	09:57:00	60	V	131	131	131	131
19	10/04/2008	09:58:00	60	V	131	131	131	131
20	10/04/2008	09:59:00	60	V	131	131	131	131
21	10/04/2008	10:00:00	60	V	131	131	131	131
22	10/04/2008	10:01:00	60	V	131	131	131	131
23	10/04/2008	10:02:00	60	V	131	131	131	131
24	10/04/2008	10:03:00	60	V	131	131	131	131
25	10/04/2008	10:04:00	60	V	131	131	131	131
26	10/04/2008	10:05:00	60	V	131	131	130	130
27	10/04/2008	10:06:00	60	V	131	131	130	130
28	10/04/2008	10:07:00	60	V	130	130	130	130
29	10/04/2008	10:08:00	60	V	130	130	129	129
30	10/04/2008	10:09:00	60	V	130	131	130	130
31	10/04/2008	10:10:00	60	V	130	131	130	130
32	10/04/2008	10:11:00	60	V	130	130	130	130
33	10/04/2008	10:12:00	60	V	130	130	130	130
34	10/04/2008	10:13:00	60	V	130	130	130	130
35	10/04/2008	10:14:00	60	V	130	130	130	130

Tabla 8.2 Parámetros de Tensión Max. Obtenidos del Analizador

ITEM	Fecha	Tiempo	Unidad V	Tensión máx./L1	Tensión máx./L2	Tensión máx./L3	Tensión mín./L1	Tensión mín./L2	Tensión mín./L3
1	10/04/2008	09:40:25	V	131	131	131	131	131	131
2	10/04/2008	09:41:00	V	131	132	131	131	131	131
3	10/04/2008	09:42:00	V	132	132	132	131	131	131
4	10/04/2008	09:43:00	V	132	132	131	131	131	131
5	10/04/2008	09:44:00	V	132	132	131	131	131	131
6	10/04/2008	09:45:00	V	132	132	131	131	131	131
7	10/04/2008	09:46:00	V	132	132	131	131	131	131
8	10/04/2008	09:47:00	V	132	132	131	131	131	131
9	10/04/2008	09:48:00	V	132	132	132	131	131	131
10	10/04/2008	09:49:00	V	131	132	131	131	131	131
11	10/04/2008	09:50:00	V	132	132	131	131	131	131
12	10/04/2008	09:51:00	V	131	131	131	131	131	131
13	10/04/2008	09:52:00	V	131	131	131	131	131	131
14	10/04/2008	09:53:00	V	131	131	131	131	131	131
15	10/04/2008	09:54:00	V	131	132	131	131	131	131
16	10/04/2008	09:55:00	V	131	131	131	131	131	131
17	10/04/2008	09:56:00	V	131	132	131	131	131	131
18	10/04/2008	09:57:00	V	131	132	131	131	131	131
19	10/04/2008	09:58:00	V	131	132	131	131	131	131
20	10/04/2008	09:59:00	V	131	131	131	131	131	131
21	10/04/2008	10:00:00	V	131	132	131	131	131	131
22	10/04/2008	10:01:00	V	131	132	131	131	131	131
23	10/04/2008	10:02:00	V	131	131	131	131	131	131
24	10/04/2008	10:03:00	V	131	131	131	131	131	131
25	10/04/2008	10:04:00	V	131	131	131	131	131	131
26	10/04/2008	10:05:00	V	131	131	131	131	131	130
27	10/04/2008	10:06:00	V	131	131	131	131	131	130
28	10/04/2008	10:07:00	V	131	131	131	130	130	129
29	10/04/2008	10:08:00	V	130	130	130	130	130	129
30	10/04/2008	10:09:00	V	131	131	130	130	130	130
31	10/04/2008	10:10:00	V	131	131	131	130	131	130
32	10/04/2008	10:11:00	V	131	131	130	130	130	130
33	10/04/2008	10:12:00	V	131	131	130	130	130	130
34	10/04/2008	10:13:00	V	131	131	130	130	130	130
35	10/04/2008	10:14:00	V	130	131	130	130	130	130

De los datos tomados de tabla tenemos:

Tensión Máxima = 132xRAIZ (3)

$$= 228.631V$$

$$\begin{aligned} \text{Tensión M\u00ednima} &= 129.9 \times \text{RAIZ (3)} \\ &= 224.9931\text{V} \end{aligned}$$

TABLA 8.3 Cuadro de resumen para estudio

TENSI\u00d3N MAXIMO (V)	TENSI\u00d3N MINIMA (V)	MAXIMA TENSI\u00d3N PERMITIDO DE ACUERDO A LA NTCSE: $220 + 5\%220$ V	MINIMA TENSI\u00d3N PERMITIDO DE ACUERDO A LA NTCSE: $220 - 5\%220$ V
228.63	224.9	231	209

8.8.2 Corriente

A continuaci\u00f3n se muestra los datos obtenido por el analizador para los niveles de Corriente. Ver Tablas 8.4, 8.5 y 8.6

Tabla 8.4 Datos de Corriente obtenido del Analizador

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Unidad A	Corriente/ L1	Corriente/ L2	Corriente/ L3	Corriente/ III
1	10/04/2008	09:40:25	60	A	50.563	62.142	60.115	57.606
2	10/04/2008	09:41:00	60	A	50.563	62.523	60.115	57.733
3	10/04/2008	09:42:00	60	A	50.944	62.523	60.496	57.987
4	10/04/2008	09:43:00	60	A	52.084	62.904	61.637	58.875
5	10/04/2008	09:44:00	60	A	52.845	63.285	63.159	59.763
6	10/04/2008	09:45:00	60	A	53.605	62.904	63.92	60.143
7	10/04/2008	09:46:00	60	A	53.225	62.904	63.54	59.889
8	10/04/2008	09:47:00	60	A	53.225	62.904	63.54	59.889
9	10/04/2008	09:48:00	60	A	53.225	62.904	63.54	59.889
10	10/04/2008	09:49:00	60	A	53.225	62.904	63.159	59.762
11	10/04/2008	09:50:00	60	A	53.225	62.904	63.159	59.762
12	10/04/2008	09:51:00	60	A	52.845	62.904	63.159	59.636
13	10/04/2008	09:52:00	60	A	52.845	62.904	63.159	59.636
14	10/04/2008	09:53:00	60	A	52.845	62.904	63.159	59.636
15	10/04/2008	09:54:00	60	A	52.845	62.904	63.159	59.636
16	10/04/2008	09:55:00	60	A	52.845	62.904	63.159	59.636
17	10/04/2008	09:56:00	60	A	28.893	29.736	38.808	32.479
18	10/04/2008	09:57:00	60	A	25.852	25.161	34.243	28.418
19	10/04/2008	09:58:00	60	A	24.711	23.636	34.243	27.53
20	10/04/2008	09:59:00	60	A	24.711	23.636	33.862	27.403
21	10/04/2008	10:00:00	60	A	24.711	23.636	33.862	27.403
22	10/04/2008	10:01:00	60	A	25.091	23.636	33.862	27.529
23	10/04/2008	10:02:00	60	A	25.472	24.018	33.862	27.784
24	10/04/2008	10:03:00	60	A	25.472	24.399	33.862	27.911
25	10/04/2008	10:04:00	60	A	26.232	24.399	34.623	28.418
26	10/04/2008	10:05:00	60	A	25.472	24.399	33.862	27.911
27	10/04/2008	10:06:00	60	A	25.852	24.399	33.862	28.037
28	10/04/2008	10:07:00	60	A	25.852	24.399	33.862	28.037
29	10/04/2008	10:08:00	60	A	25.852	24.018	33.862	27.91
30	10/04/2008	10:09:00	60	A	25.852	24.018	34.243	28.037
31	10/04/2008	10:10:00	60	A	25.852	24.018	34.243	28.037
32	10/04/2008	10:11:00	60	A	25.852	24.018	33.862	27.91
33	10/04/2008	10:12:00	60	A	25.852	24.018	33.862	27.91
34	10/04/2008	10:13:00	60	A	25.852	24.018	33.862	27.91
35	10/04/2008	10:14:00	60	A	26.232	24.018	34.243	28.164

Tabla 8.5 Datos de Corriente Max. Obtenidas del Analizador

ITEM	Fecha	Tiempo	Corriente máx./L1	Corriente máx./L2	Corriente máx./L3	Corriente mín./L1	Corriente mín./L2	Corriente mín./L3
1	10/04/2008	09:40:25	53.605	62.523	64.681	50.183	62.142	59.354
2	10/04/2008	09:41:00	53.985	62.904	64.681	50.183	62.142	59.735
3	10/04/2008	09:42:00	53.985	64.429	65.442	50.563	62.523	60.115
4	10/04/2008	09:43:00	55.506	63.667	66.203	51.324	62.904	60.496
5	10/04/2008	09:44:00	56.266	63.667	67.725	52.464	62.904	62.018
6	10/04/2008	09:45:00	57.027	63.667	68.105	52.845	62.904	63.54
7	10/04/2008	09:46:00	57.027	63.667	68.486	52.845	62.904	63.159
8	10/04/2008	09:47:00	57.407	63.667	68.866	52.845	62.904	63.159
9	10/04/2008	09:48:00	57.407	63.667	69.627	52.845	62.523	62.779
10	10/04/2008	09:49:00	57.027	63.667	68.486	52.845	62.904	62.779
11	10/04/2008	09:50:00	56.266	63.285	67.344	52.464	62.523	62.779
12	10/04/2008	09:51:00	56.266	63.285	67.725	52.464	62.523	62.398
13	10/04/2008	09:52:00	57.027	63.285	68.486	52.464	62.904	62.779
14	10/04/2008	09:53:00	57.027	63.285	68.486	52.464	62.904	62.779
15	10/04/2008	09:54:00	56.646	63.285	68.866	52.464	62.904	62.779
16	10/04/2008	09:55:00	56.266	63.285	67.725	52.464	62.904	62.779
17	10/04/2008	09:56:00	53.225	63.285	62.779	23.951	23.255	33.482
18	10/04/2008	09:57:00	29.273	29.736	39.569	24.331	23.255	33.862
19	10/04/2008	09:58:00	29.654	24.018	39.569	24.331	23.255	33.862
20	10/04/2008	09:59:00	29.654	24.018	39.95	24.331	23.255	33.862
21	10/04/2008	10:00:00	28.133	24.018	38.048	24.331	23.636	33.862
22	10/04/2008	10:01:00	29.273	24.78	37.667	24.331	23.636	33.482
23	10/04/2008	10:02:00	28.893	24.78	38.048	25.091	24.018	33.482
24	10/04/2008	10:03:00	29.273	24.78	38.428	25.091	24.399	33.482
25	10/04/2008	10:04:00	29.654	24.78	38.428	25.472	24.399	33.482
26	10/04/2008	10:05:00	30.034	24.78	38.808	25.472	24.399	33.482
27	10/04/2008	10:06:00	30.414	24.78	38.808	25.472	24.399	33.482
28	10/04/2008	10:07:00	30.034	24.78	38.428	25.472	24.399	33.482
29	10/04/2008	10:08:00	29.273	24.399	37.667	25.472	24.018	33.482
30	10/04/2008	10:09:00	30.414	24.399	39.189	25.472	24.018	33.862
31	10/04/2008	10:10:00	30.034	24.399	39.189	25.472	24.018	33.862
32	10/04/2008	10:11:00	30.034	24.399	38.808	25.472	24.018	33.862
33	10/04/2008	10:12:00	29.273	24.399	38.048	25.472	24.018	33.482
34	10/04/2008	10:13:00	29.654	24.399	38.048	25.472	24.018	33.482
35	10/04/2008	10:14:00	30.414	24.399	38.808	25.472	24.018	33.862

Tabla 8.6 La variación de la corriente es notoria, en periodos de 10 minutos, los desbalances por fase se observan en la siguiente Tabla:

DESBALANCE	MAXIMA(A)	CORRIENTE MAXIMA
1-2	10.44	57.4
2-3	15.93	64.4
1-3	11.45	69.6

8.8.3 Potencia

Analizaremos los Valores Obtenidos para la Potencia, el analizador muestra la Figuras 8.7, la Figura 8.8 y La Tabla 8.8, 8.9 y 8.10

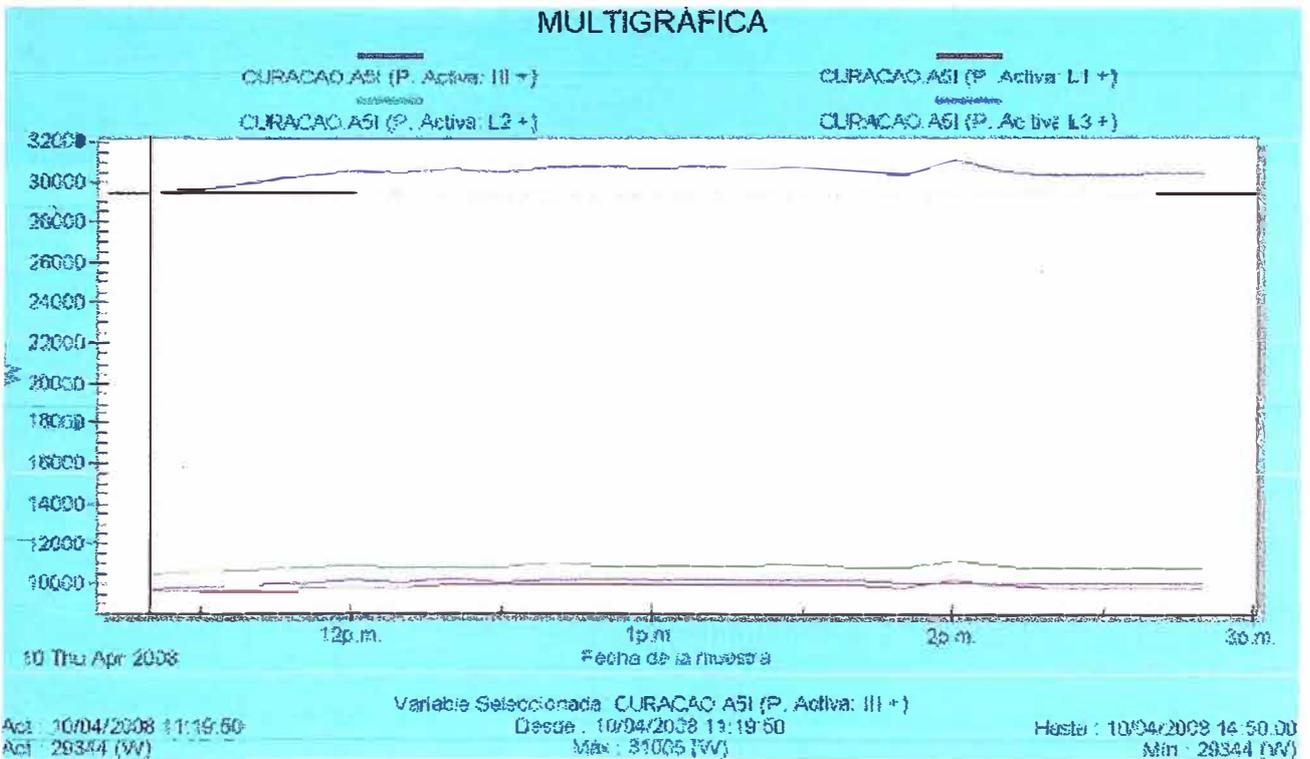


Figura 8.7 Potencia Activa

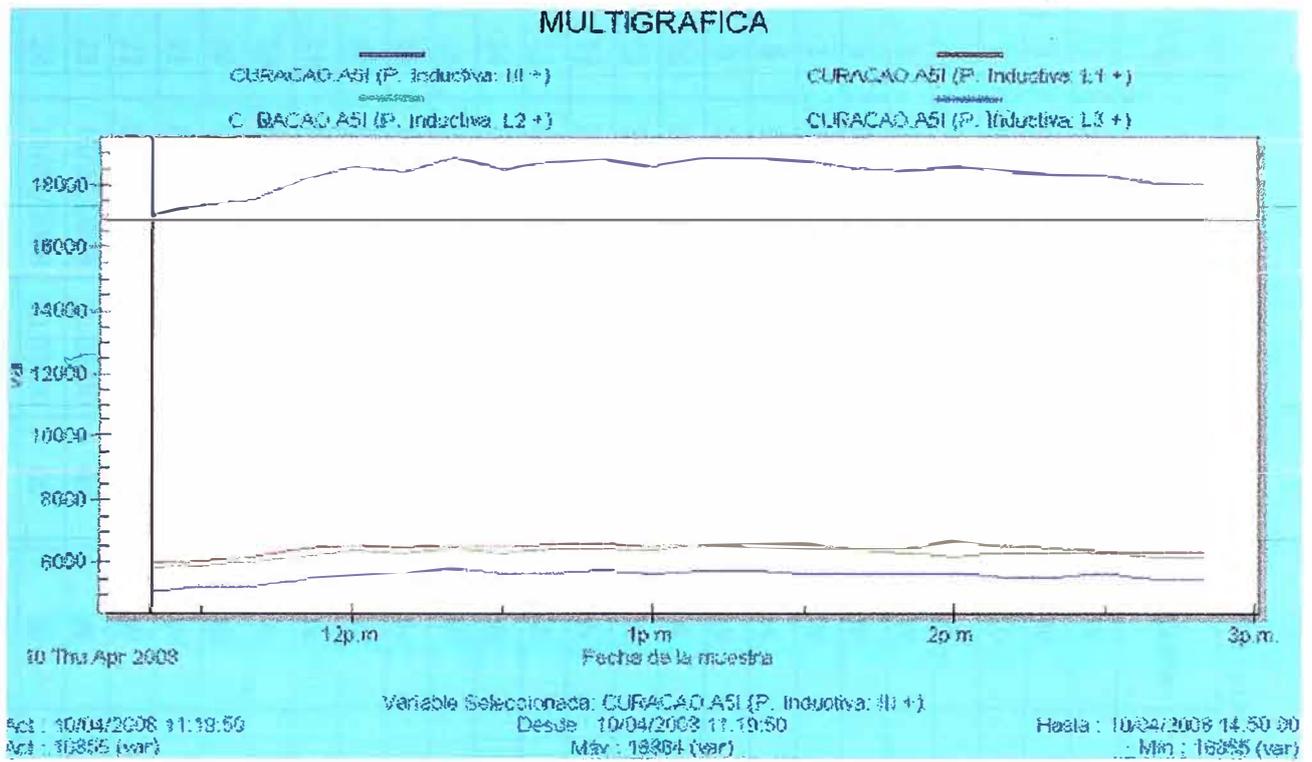


Figura 8.8 Potencia Inductiva

Tabla 8.8 Parámetros Eléctricos para la potencia Activa

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Unidad W	P. Activa /L1 +	P. Activa /L1 -	P. Activa /L2 +	P. Activa /L2 -	P. Activa /L3 +	P. Activa /L3 -	P. Activa /III +	P. Activa /III -
1	10/04/2008	09:40:25	60	W	6110	0	7274	0	7573	0	20957	0
2	10/04/2008	09:41:00	60	W	6110	0	7362	0	7573	0	21045	0
3	10/04/2008	09:42:00	60	W	6197	0	7362	0	7660	0	21219	0
4	10/04/2008	09:43:00	60	W	6372	0	7449	0	7747	0	21568	0
5	10/04/2008	09:44:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
6	10/04/2008	09:45:00	60	W	6633	0	7449	0	8008	0	22090	0
7	10/04/2008	09:46:00	60	W	6546	0	7449	0	8008	0	22003	0
8	10/04/2008	09:47:00	60	W	6633	0	7449	0	8008	0	22090	0
9	10/04/2008	09:48:00	60	W	6546	0	7449	0	8008	0	22003	0
10	10/04/2008	09:49:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
11	10/04/2008	09:50:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
12	10/04/2008	09:51:00	60	W	6546	0	7362	0	7921	0	21829	0
13	10/04/2008	09:52:00	60	W	6546	0	7362	0	7921	0	21829	0
14	10/04/2008	09:53:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
15	10/04/2008	09:54:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
16	10/04/2008	09:55:00	60	W	6546	0	7449	0	7921	0	21916	0
17	10/04/2008	09:56:00	60	W	3666	0	3067	0	4700	0	11433	0
18	10/04/2008	09:57:00	60	W	3229	0	2541	0	4091	0	9861	0
19	10/04/2008	09:58:00	60	W	3142	0	2278	0	4091	0	9511	0
20	10/04/2008	09:59:00	60	W	3142	0	2278	0	4091	0	9511	0
21	10/04/2008	10:00:00	60	W	3142	0	2366	0	4091	0	9599	0
22	10/04/2008	10:01:00	60	W	3142	0	2366	0	4091	0	9599	0
23	10/04/2008	10:02:00	60	W	3229	0	2454	0	4091	0	9774	0
24	10/04/2008	10:03:00	60	W	3229	0	2454	0	4091	0	9774	0
25	10/04/2008	10:04:00	60	W	3316	0	2541	0	4178	0	10035	0

26	10/04/2008	10:05:00	60	W	3229	0	2541	0	4091	0	9861	0
27	10/04/2008	10:06:00	60	W	3229	0	2454	0	4091	0	9774	0
28	10/04/2008	10:07:00	60	W	3229	0	2454	0	4004	0	9687	0
29	10/04/2008	10:08:00	60	W	3229	0	2454	0	4004	0	9687	0
30	10/04/2008	10:09:00	60	W	3316	0	2454	0	4091	0	9861	0
31	10/04/2008	10:10:00	60	W	3316	0	2454	0	4091	0	9861	0
32	10/04/2008	10:11:00	60	W	3229	0	2454	0	4091	0	9774	0
33	10/04/2008	10:12:00	60	W	3316	0	2454	0	4091	0	9861	0
34	10/04/2008	10:13:00	60	W	3316	0	2454	0	4091	0	9861	0
35	10/04/2008	10:14:00	60	W	3316	0	2454	0	4091	0	9861	0

Tabla 8.9 Parámetros Eléctricos para la potencia Reactiva

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Unidad Var	P. Induc tiva/L1 +	P. Inductiva /L1 -	P. Inductiva /L2 +	P. Inductiva /L2 -	P. Inductiva /L3 +	P. Inductiva /L3 -	P. Inductiva /III +
1	10/04/2008	09:40:25	60	Var	2531	0	3418	0	1915	0	7864
2	10/04/2008	09:41:00	60	Var	2531	0	3418	0	1915	0	7864
3	10/04/2008	09:42:00	60	Var	2531	0	3505	0	2002	0	8038
4	10/04/2008	09:43:00	60	Var	2444	0	3505	0	2089	0	8038
5	10/04/2008	09:44:00	60	Var	2444	0	3505	0	2176	0	8125
6	10/04/2008	09:45:00	60	Var	2356	0	3505	0	2176	0	8037
7	10/04/2008	09:46:00	60	Var	2356	0	3505	0	2176	0	8037
8	10/04/2008	09:47:00	60	Var	2356	0	3505	0	2176	0	8037
9	10/04/2008	09:48:00	60	Var	2356	0	3418	0	2176	0	7950
10	10/04/2008	09:49:00	60	Var	2356	0	3418	0	2176	0	7950
11	10/04/2008	09:50:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
12	10/04/2008	09:51:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
13	10/04/2008	09:52:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
14	10/04/2008	09:53:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
15	10/04/2008	09:54:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
16	10/04/2008	09:55:00	60	Var	2356	0	3418	0	2089	0	7863
17	10/04/2008	09:56:00	60	Var	436	0	2015	0	1654	0	4105
18	10/04/2008	09:57:00	60	Var	349	0	1665	0	1654	0	3668

19	10/04/2008	09:58:00	60	Var	174	0	1665	0	1654	0	3493
20	10/04/2008	09:59:00	60	Var	174	0	1665	0	1654	0	3493
21	10/04/2008	10:00:00	60	Var	174	0	1665	0	1566	0	3405
22	10/04/2008	10:01:00	60	Var	174	0	1665	0	1566	0	3405
23	10/04/2008	10:02:00	60	Var	261	0	1665	0	1566	0	3492
24	10/04/2008	10:03:00	60	Var	261	0	1665	0	1566	0	3492
25	10/04/2008	10:04:00	60	Var	261	0	1665	0	1654	0	3580
26	10/04/2008	10:05:00	60	Var	261	0	1665	0	1566	0	3492
27	10/04/2008	10:06:00	60	Var	261	0	1665	0	1566	0	3492
28	10/04/2008	10:07:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
29	10/04/2008	10:08:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
30	10/04/2008	10:09:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
31	10/04/2008	10:10:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
32	10/04/2008	10:11:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
33	10/04/2008	10:12:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
34	10/04/2008	10:13:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404
35	10/04/2008	10:14:00	60	Var	261	0	1577	0	1566	0	3404

De los datos obtenidos por el analizador para la potencia activa y potencia inductiva se ha tomado sus valores máximos y mínimos. Ver tabla 8.3

Tabla 8.10. Valores Máximos y Mínimos Obtenidos Para la P. Activa

ACTIVA		INDUCTIVA	
MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
22.090KW	9.511KW	8.725 KW	3.404KW

8.8.4 Factor de Potencia

A continuación se muestra en Figura 8.9 y La Tabla 8.10, los valores en los que oscila el factor de potencia.

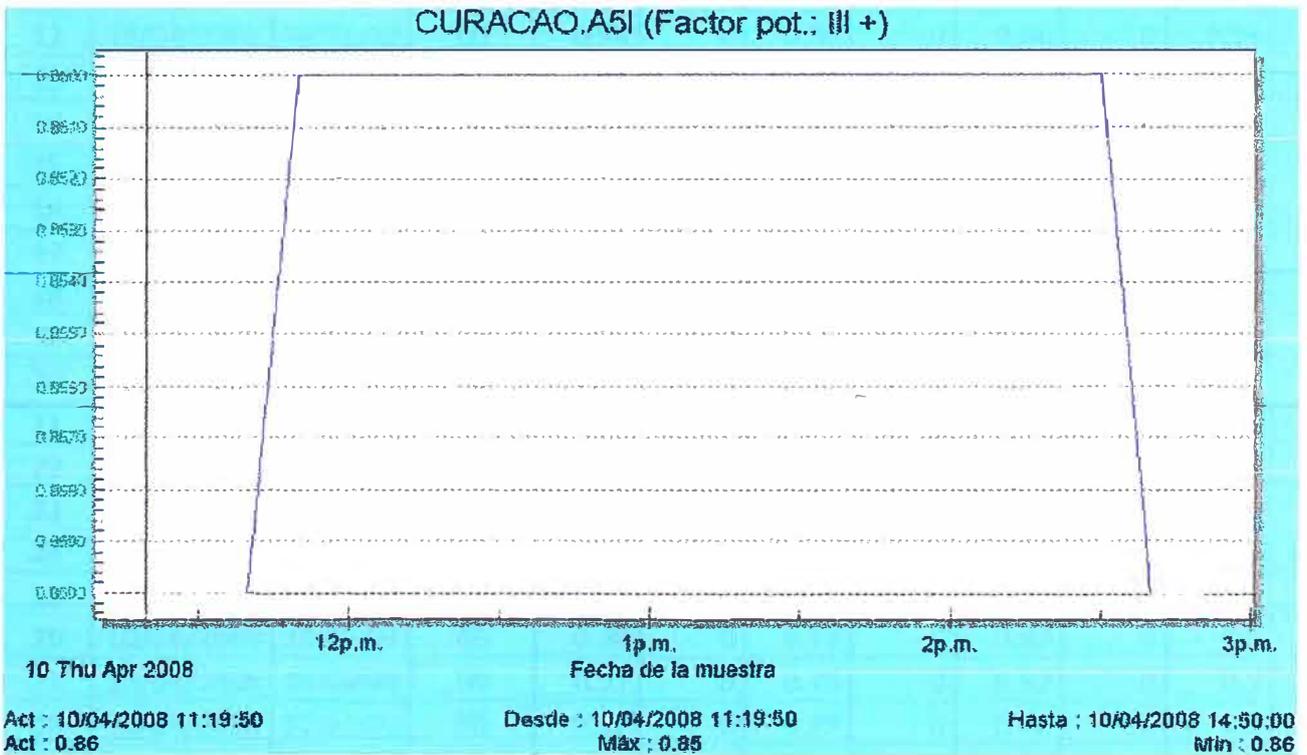


Figura 8.9 Comportamiento del Factor de Potencia

Tabla 8.10 Parámetros eléctricos para el factor de potencia

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Factor pot. /L1 +	Factor pot. /L1 -	Factor pot. /L2 +	Factor pot. /L2 -	Factor pot. /L3 +	Factor pot. /L3 -	Factor pot. /III +	Factor pot. /III -
1	10/04/2008	09:40:25	60	0.93	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
2	10/04/2008	09:41:00	60	0.92	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
3	10/04/2008	09:42:00	60	0.92	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
4	10/04/2008	09:43:00	60	0.93	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
5	10/04/2008	09:44:00	60	0.94	0	0.89	0	0.95	0	0.93	0
6	10/04/2008	09:45:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
7	10/04/2008	09:46:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
8	10/04/2008	09:47:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
9	10/04/2008	09:48:00	60	0.94	0	0.9	0	0.95	0	0.93	0
10	10/04/2008	09:49:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
11	10/04/2008	09:50:00	60	0.94	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
12	10/04/2008	09:51:00	60	0.94	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
13	10/04/2008	09:52:00	60	0.94	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
14	10/04/2008	09:53:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
15	10/04/2008	09:54:00	60	0.94	0	0.9	0	0.96	0	0.93	0
16	10/04/2008	09:55:00	60	0.94	0	0.89	0	0.96	0	0.93	0
17	10/04/2008	09:56:00	60	0.97	0	0.8	0	0.93	0	0.9	0
18	10/04/2008	09:57:00	60	0.97	0	0.78	0	0.92	0	0.89	0
19	10/04/2008	09:58:00	60	0.97	0	0.75	0	0.92	0	0.89	0
20	10/04/2008	09:59:00	60	0.97	0	0.75	0	0.93	0	0.89	0
21	10/04/2008	10:00:00	60	0.97	0	0.76	0	0.92	0	0.89	0
22	10/04/2008	10:01:00	60	0.97	0	0.78	0	0.92	0	0.9	0
23	10/04/2008	10:02:00	60	0.97	0	0.79	0	0.92	0	0.9	0
24	10/04/2008	10:03:00	60	0.98	0	0.78	0	0.93	0	0.9	0
25	10/04/2008	10:04:00	60	0.97	0	0.79	0	0.92	0	0.9	0
26	10/04/2008	10:05:00	60	0.98	0	0.79	0	0.92	0	0.9	0
27	10/04/2008	10:06:00	60	0.97	0	0.79	0	0.92	0	0.9	0
28	10/04/2008	10:07:00	60	0.97	0	0.79	0	0.92	0	0.9	0
29	10/04/2008	10:08:00	60	0.97	0	0.8	0	0.92	0	0.9	0
30	10/04/2008	10:09:00	60	0.98	0	0.8	0	0.92	0	0.9	0
31	10/04/2008	10:10:00	60	0.98	0	0.8	0	0.92	0	0.9	0
32	10/04/2008	10:11:00	60	0.98	0	0.8	0	0.93	0	0.91	0
33	10/04/2008	10:12:00	60	0.98	0	0.8	0	0.93	0	0.91	0
34	10/04/2008	10:13:00	60	0.98	0	0.8	0	0.92	0	0.91	0
35	10/04/2008	10:14:00	60	0.97	0	0.8	0	0.92	0	0.9	0

8.8.5 Frecuencia

A continuación se muestra en la Figura 8.10 y la Tabla 8.11 los valores en los que oscila la frecuencia.

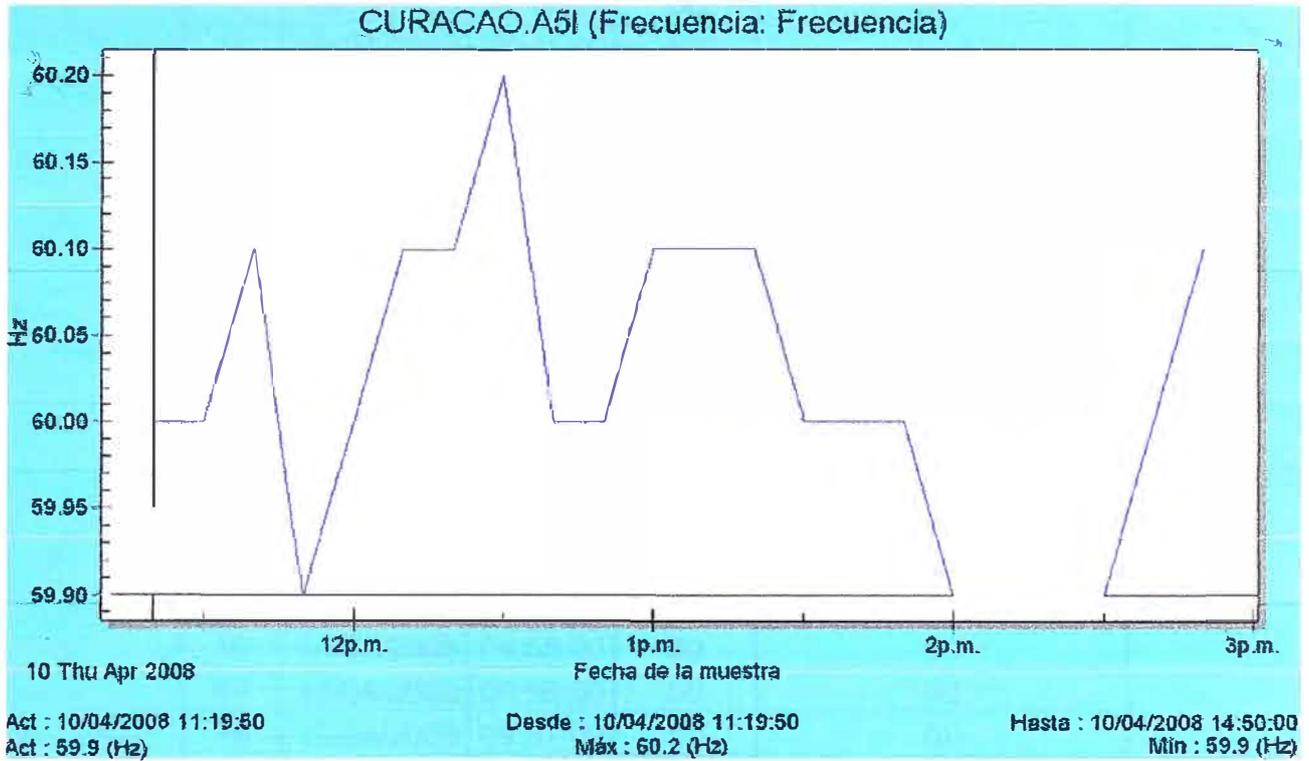


Figura 8.10 Variación de la frecuencia tomado del analizador

Tabla 8.11 Oscilación de la Frecuencia

ITEM	Fecha	Tiempo	Período	Frecuencia/Frecuencia
1	10/04/2008	09:40:25	60	60.1
2	10/04/2008	09:41:00	60	60.1
3	10/04/2008	09:42:00	60	60.1
4	10/04/2008	09:43:00	60	60.1
5	10/04/2008	09:44:00	60	60.1
6	10/04/2008	09:45:00	60	60.1
7	10/04/2008	09:46:00	60	60.1
8	10/04/2008	09:47:00	60	60.1
9	10/04/2008	09:48:00	60	60.1
10	10/04/2008	09:49:00	60	60.1
11	10/04/2008	09:50:00	60	60.1
12	10/04/2008	09:51:00	60	60.1
13	10/04/2008	09:52:00	60	60.1
14	10/04/2008	09:53:00	60	60.1
15	10/04/2008	09:54:00	60	60
16	10/04/2008	09:55:00	60	60
17	10/04/2008	09:56:00	60	60
18	10/04/2008	09:57:00	60	60
19	10/04/2008	09:58:00	60	60
20	10/04/2008	09:59:00	60	60
21	10/04/2008	10:00:00	60	60.1
22	10/04/2008	10:01:00	60	60.2
23	10/04/2008	10:02:00	60	60.1
24	10/04/2008	10:03:00	60	60.1
25	10/04/2008	10:04:00	60	60.1
26	10/04/2008	10:05:00	60	60
27	10/04/2008	10:06:00	60	60.1
28	10/04/2008	10:07:00	60	60.1
29	10/04/2008	10:08:00	60	60.1
30	10/04/2008	10:09:00	60	60.1
31	10/04/2008	10:10:00	60	60.1
32	10/04/2008	10:11:00	60	60.1
33	10/04/2008	10:12:00	60	60.2
34	10/04/2008	10:13:00	60	60.2
35	10/04/2008	10:14:00	60	60.2

8.8.6 Armónicos

Los valores de armónicos en los que oscilan la de Tensión y Corriente presentes en del sistema está dentro de límites permitidos por la Normas. Se muestra en la Figura 8.11

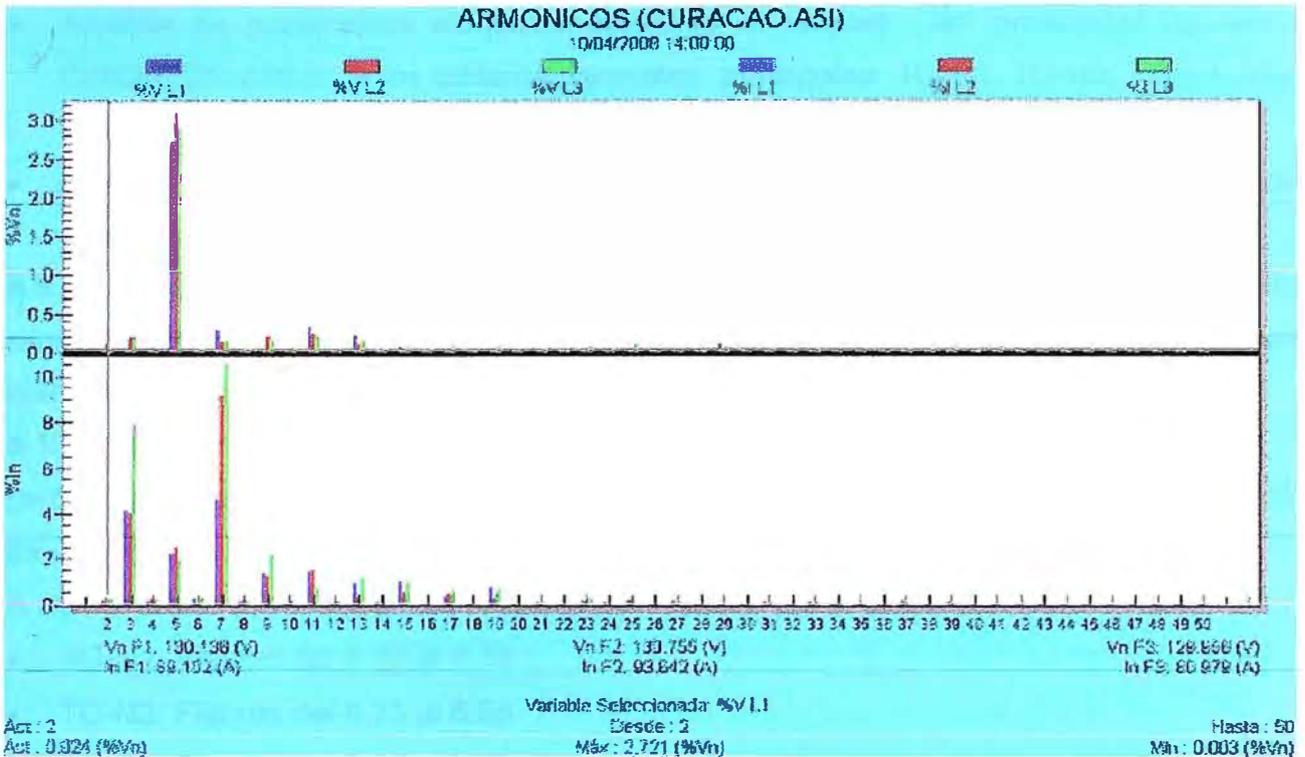


Figura 8.11 Presencia de Armónicos en la Red

8.9 Saga Falabella de Piura

8.9.1 Generalidades

La tienda Saga Falabella a la cual está referido el informe se encuentra ubicado en la ciudad de Piura, consta de un primer nivel destinado a tienda, almacén, sala de tableros de distribución, subestación eléctrica, mallas de sistema de pozo a tierra; se tiene un ambiente en el segundo nivel donde se encuentran ubicados los tableros generales, y equipos de aire acondicionado con sus respectivos tableros de protección y control.

La tienda en mención tiene dos subestaciones eléctricas una con un transformador de 1000kVA y relación de transformación 10.0/0.23 kV el cual está destinado para la alimentación a los equipos eléctricos en general de uso en la tienda.

8.9.2 Introducción

Cumpliendo con las normativas del C.N.E., reglamentos y recomendaciones el departamento de mantenimiento de la tienda Saga Falabella de la ciudad de Piura, encargó a la empresa Serve Center S&M la realización del Mantenimiento preventivo anual de sus instalaciones eléctricas referidas al equipamiento en media tensión y baja tensión.

8.9.3 Sistema de Baja Tensión

Los trabajos realizados para el sistema de baja tensión se efectuaron en los tableros generales, tableros de distribución secundarios, sistemas de pozo a tierra, donde se realizó lo siguiente:

- *Análisis de parámetros eléctricos mediante el empleo del analizador de redes CIRCUTOR ARL5, a los tableros generales principales: TG-N1, TG-N2, TGE-1, TG-FC.*
- *Medición de la resistividad de los pozos y mallas del sistema de tierra y aplicación de dosis de sales químicas.*

8.9.4 Objetivo.- El estudio se concentrara a la toma de datos mediante el analizador de redes ARL5 a fin de evaluar la calidad de servicio eléctrico existente en las instalaciones eléctricas que alimenta al Centro Comercial Saga Piura.

8.10 Procedimiento.- Los tableros a tomar como análisis son TG-N1, Tablero General de Operación Normal 1, TG-E1, Tablero General de Emergencia, TG-N2, Tablero General de Operación Normal 2 y el Tablero TG-FC.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por el analizador para los tableros:

- TG-N1 Figuras del 8.12 al 8.24
- TG-N2 Figuras del 8.25 al 8.36
- TG-E1 Figuras del 8.37 al 8.47
- TG-FC Figuras del 8.48 al 8.59

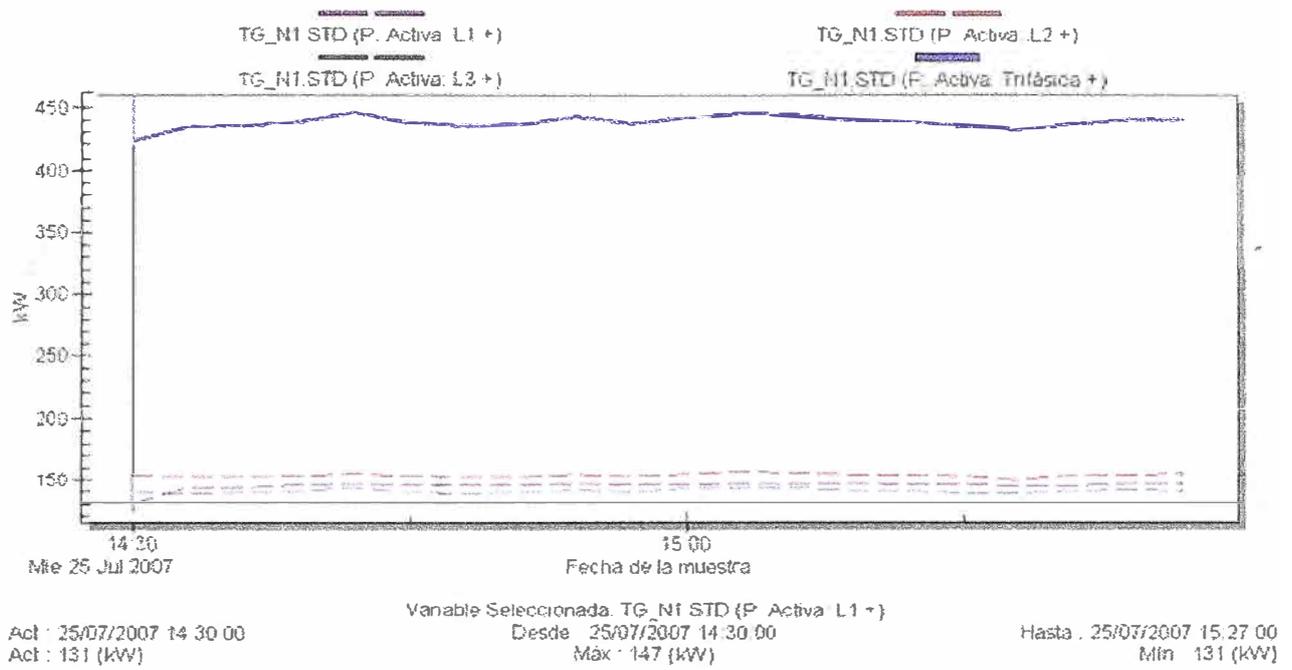


Figura 8.12 Potencia Activa TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

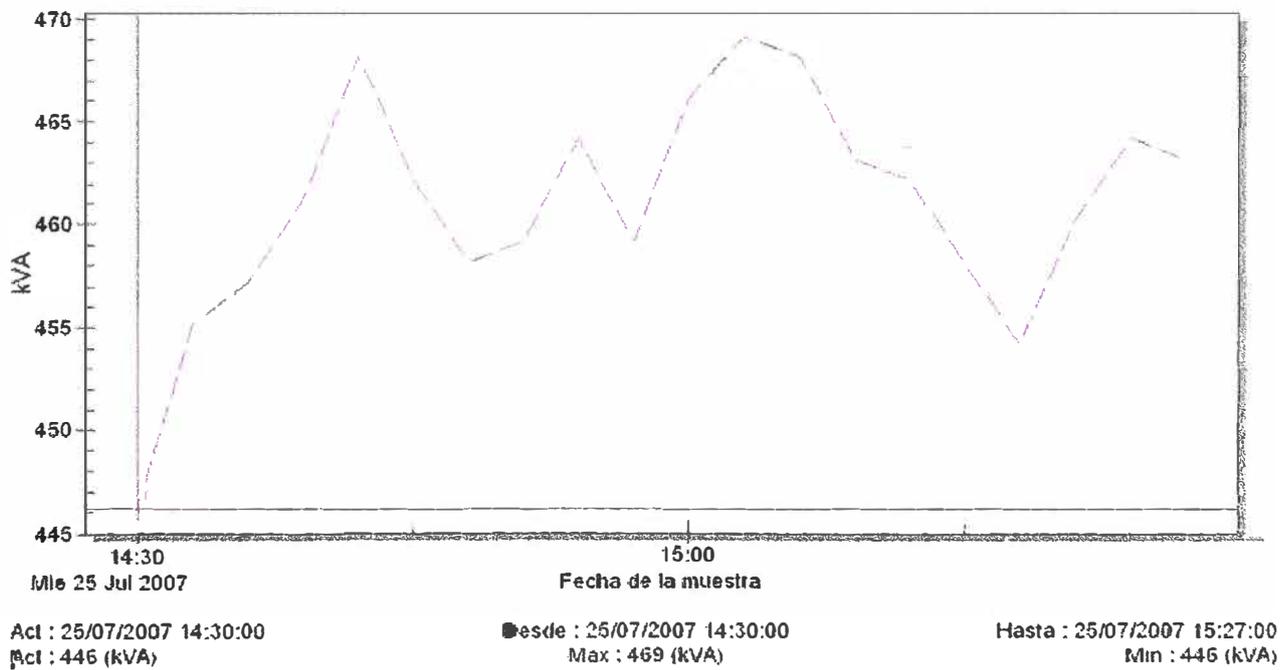


Figura 8.13 Potencia Aparente TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

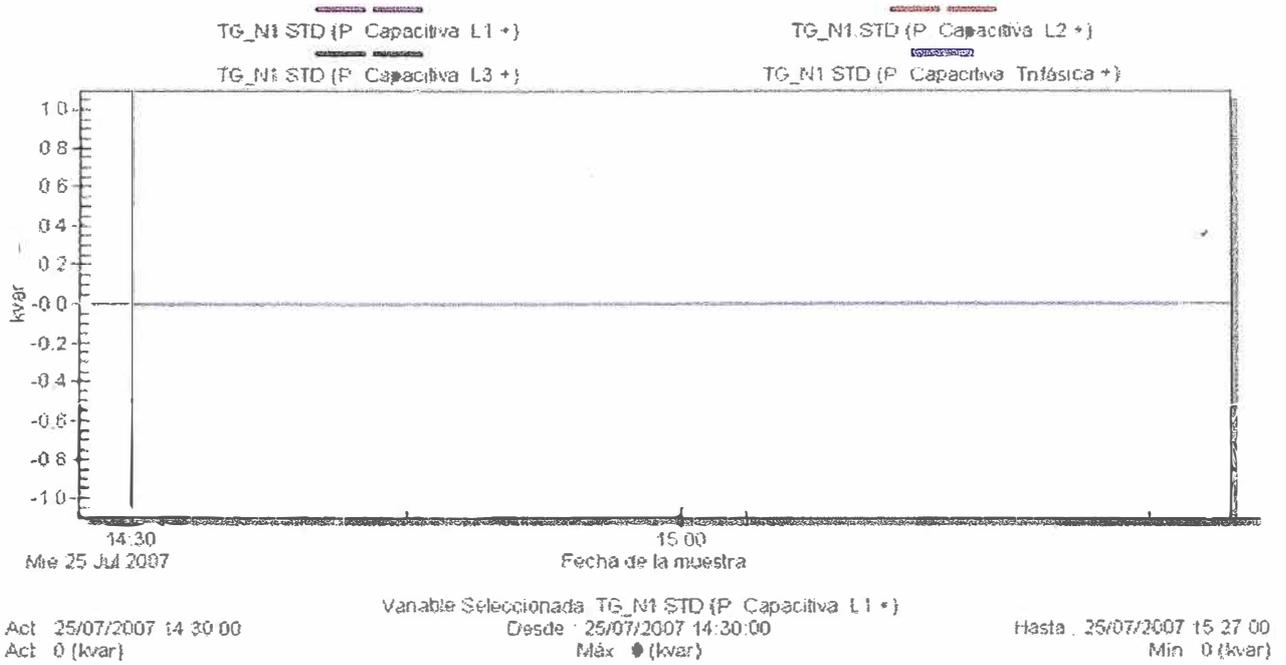


Figura 8.14 Potencia Capacitiva TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

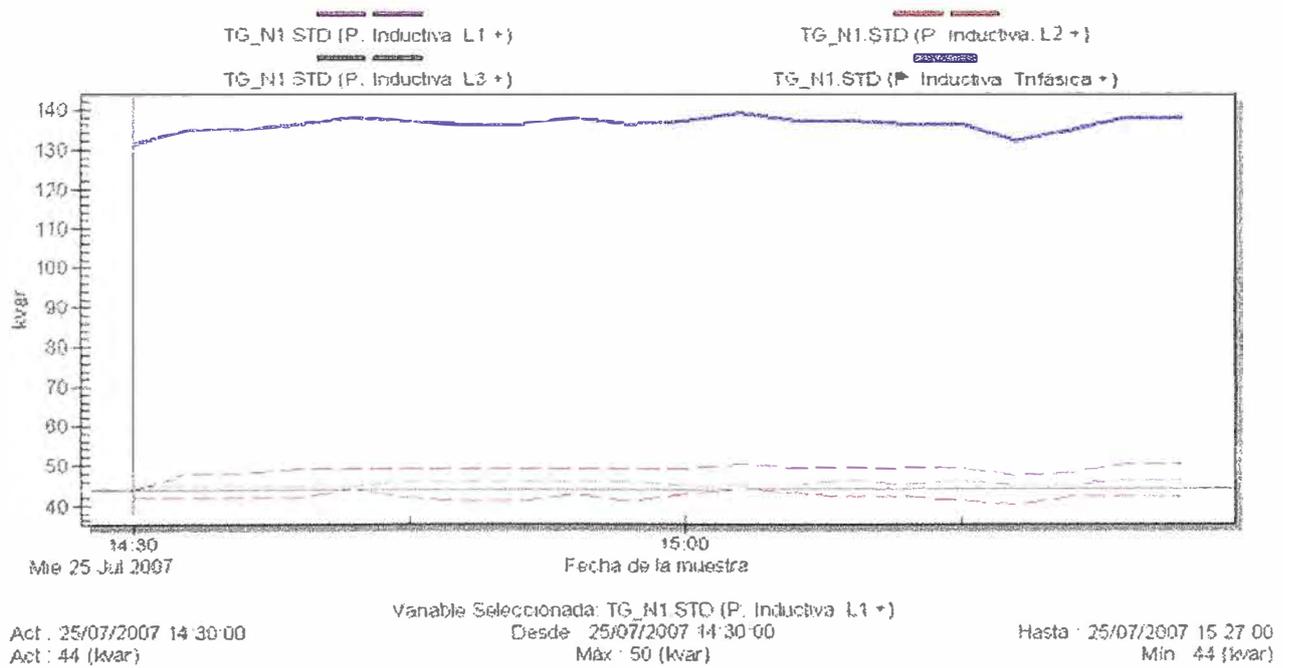


Figura 8.15 Potencia Inductiva TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

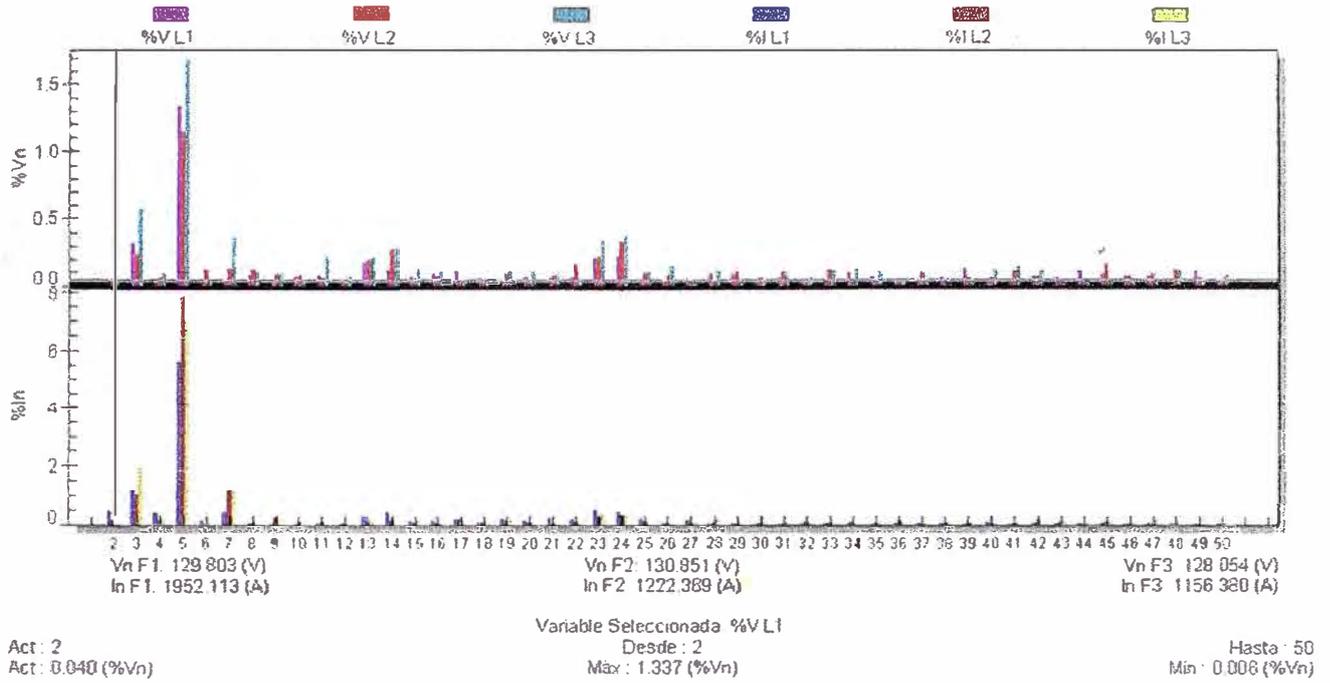


Figura 8.16 Armónicos TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura 25/07/2007 14:30

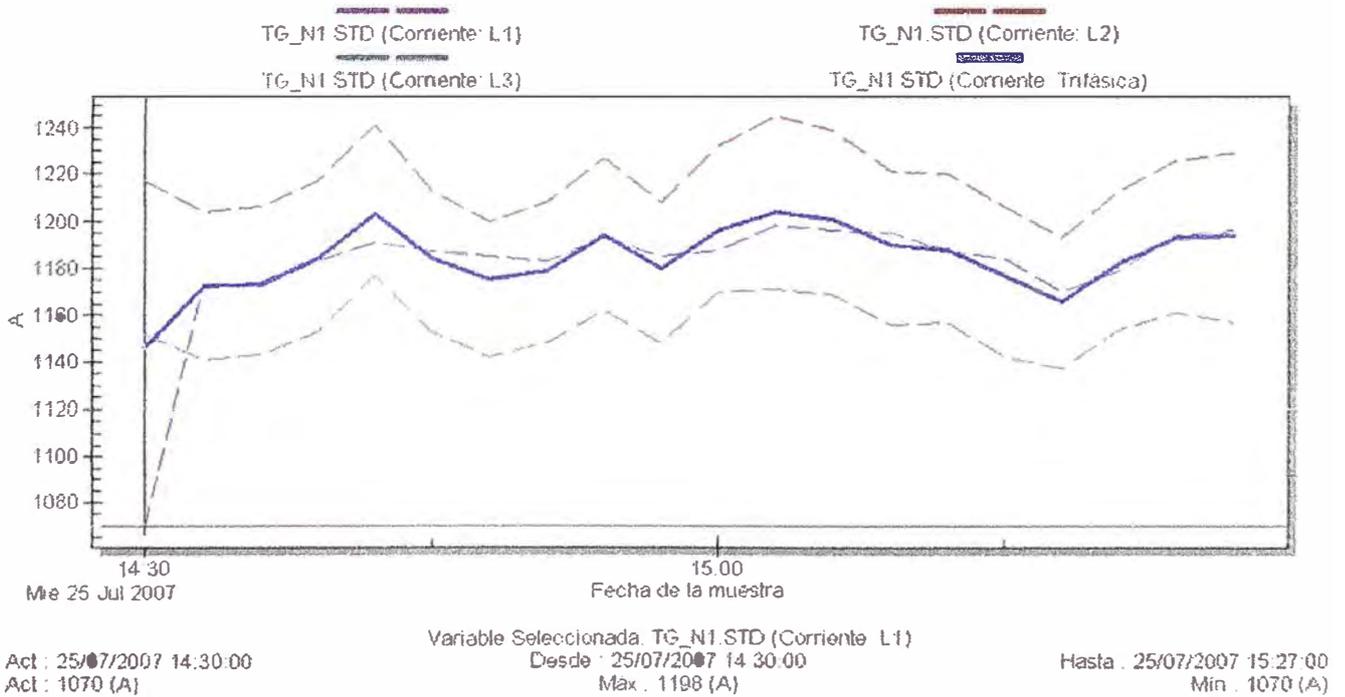


Figura 8.17 Corriente TG-N1 – Saga Falabella S.A.

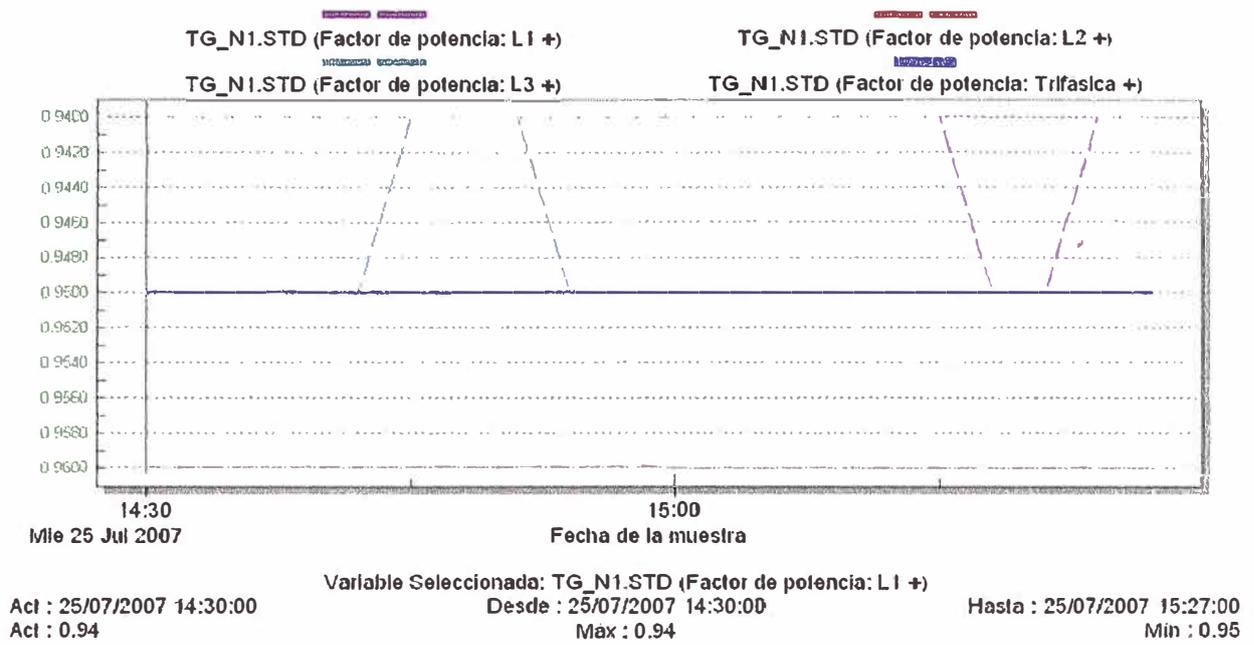


Figura 8.18 Factor de Potencia TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

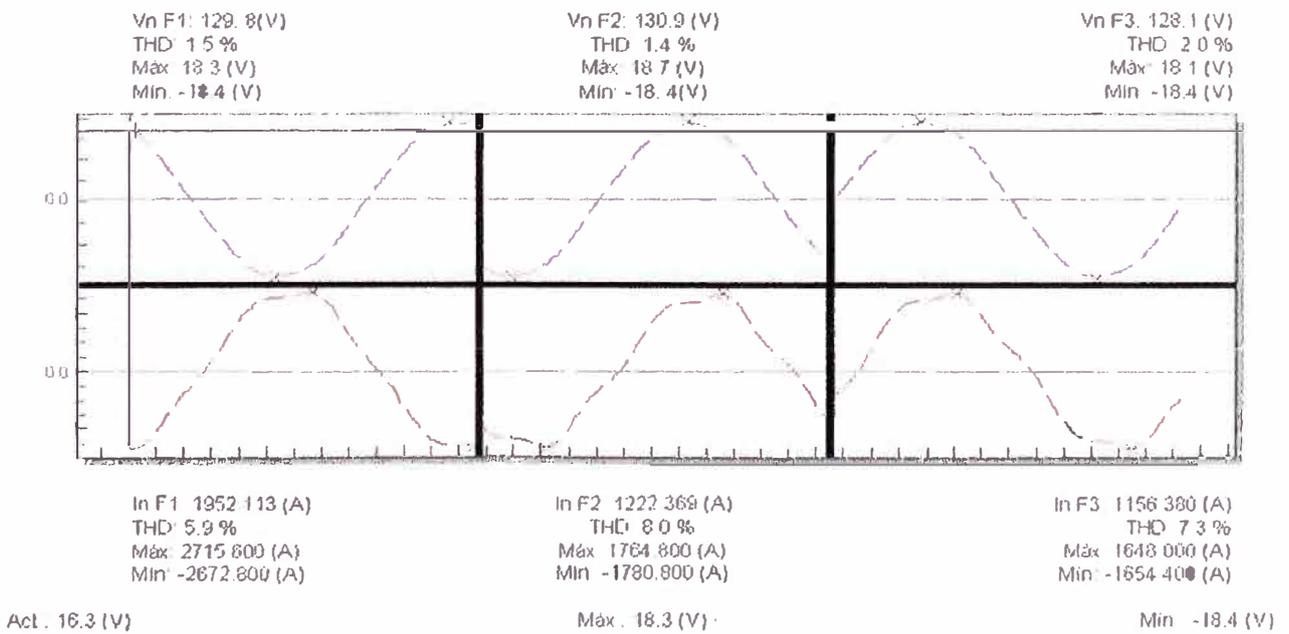


Figura 8.19 Factor de Potencia TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura 25/07/2007 14:30

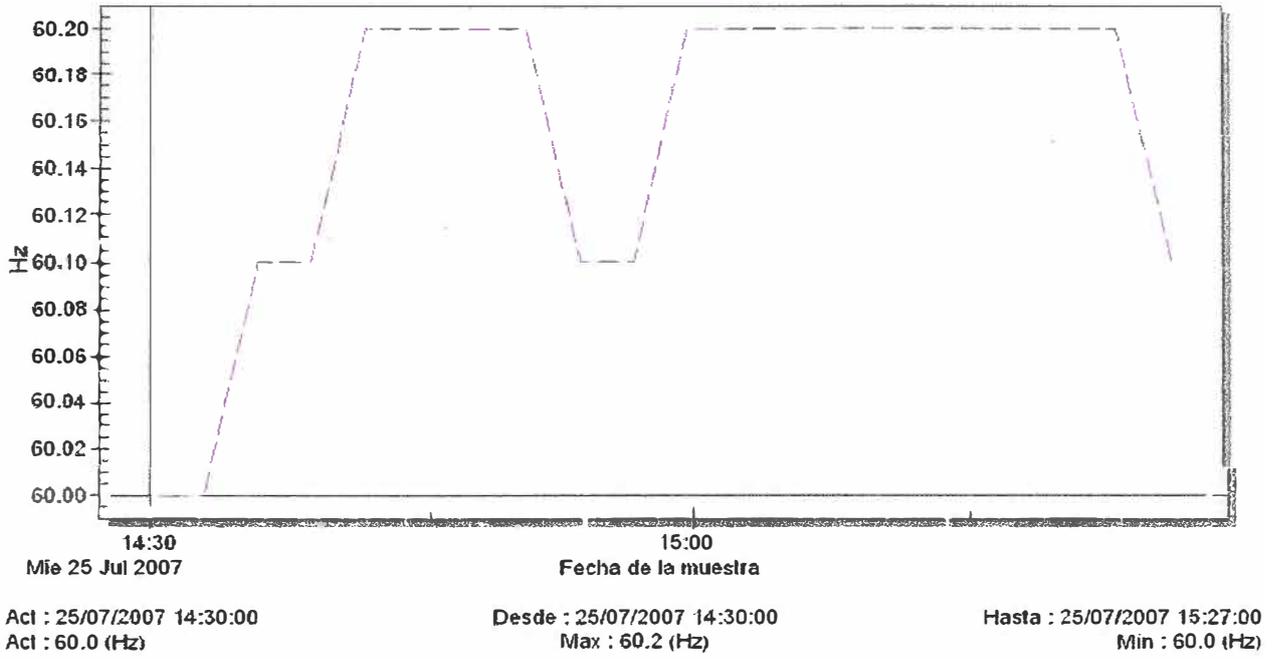


Figura 8.20 Frecuencia TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

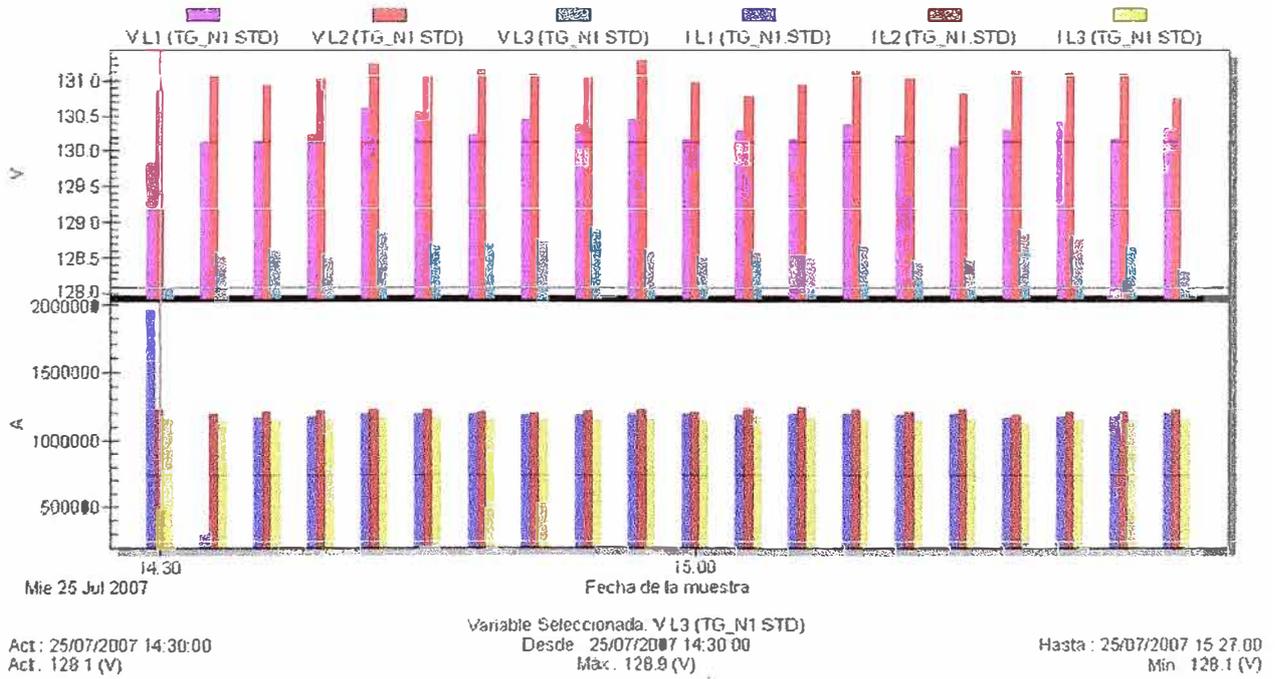


Figura 8.21 RMS TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

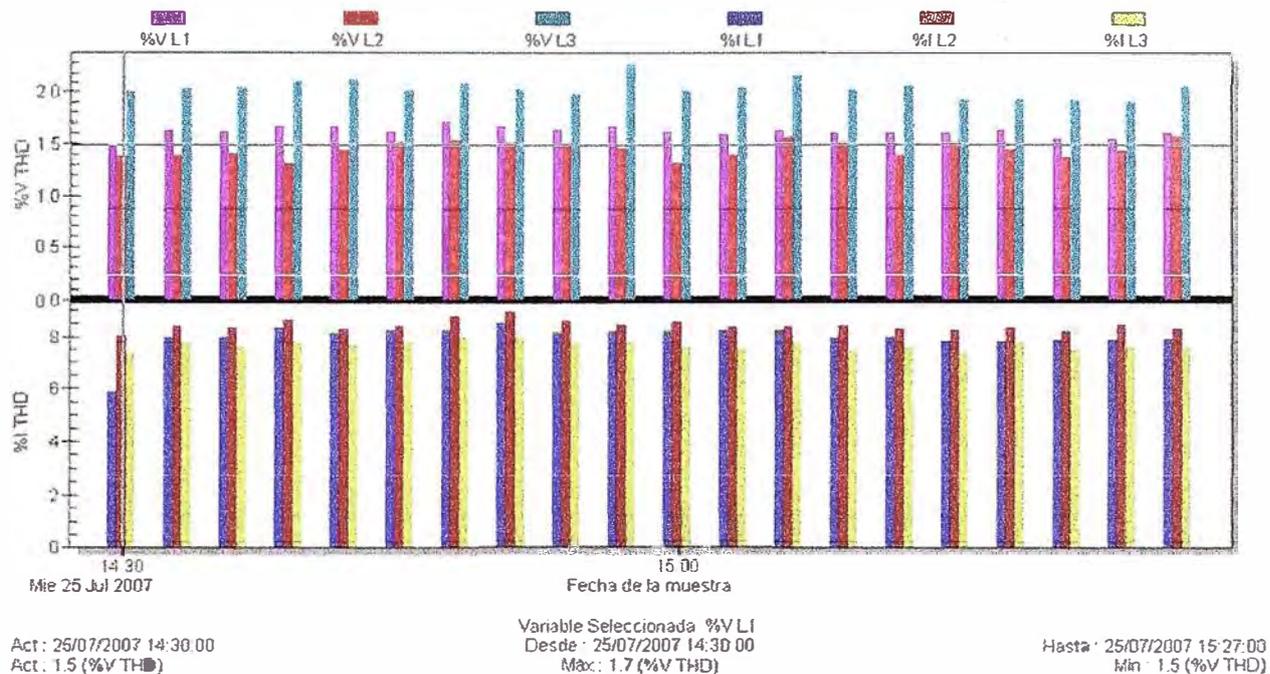


Figura 8.22 Tasa de Distorsión Armónica TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

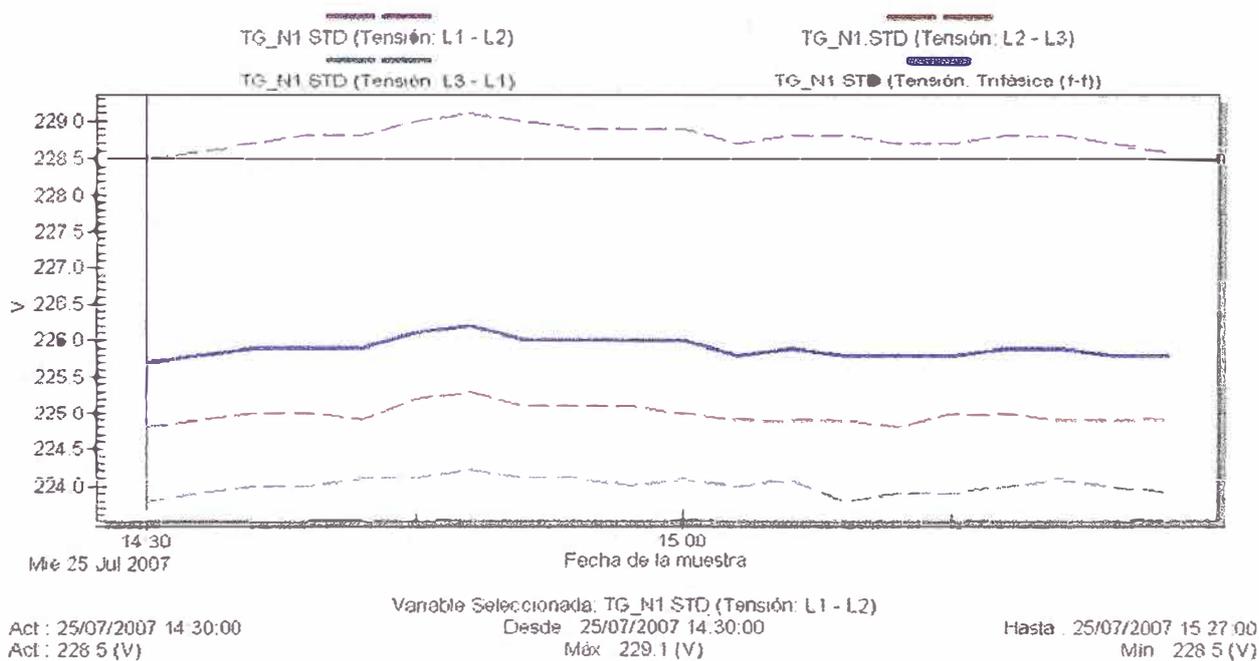


Figura 8.23 Tensión TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura

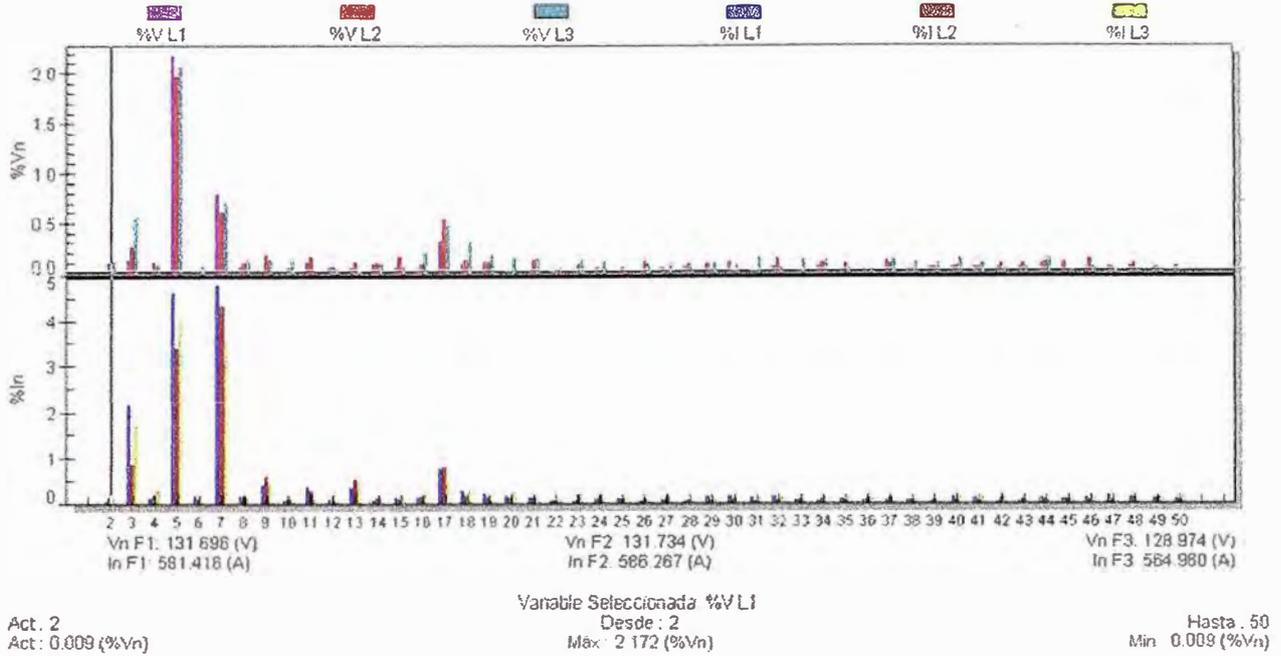


Figura 8.24 Armónicos TG-N1 – Saga Falabella S.A. Piura 25/07/2007 17:15

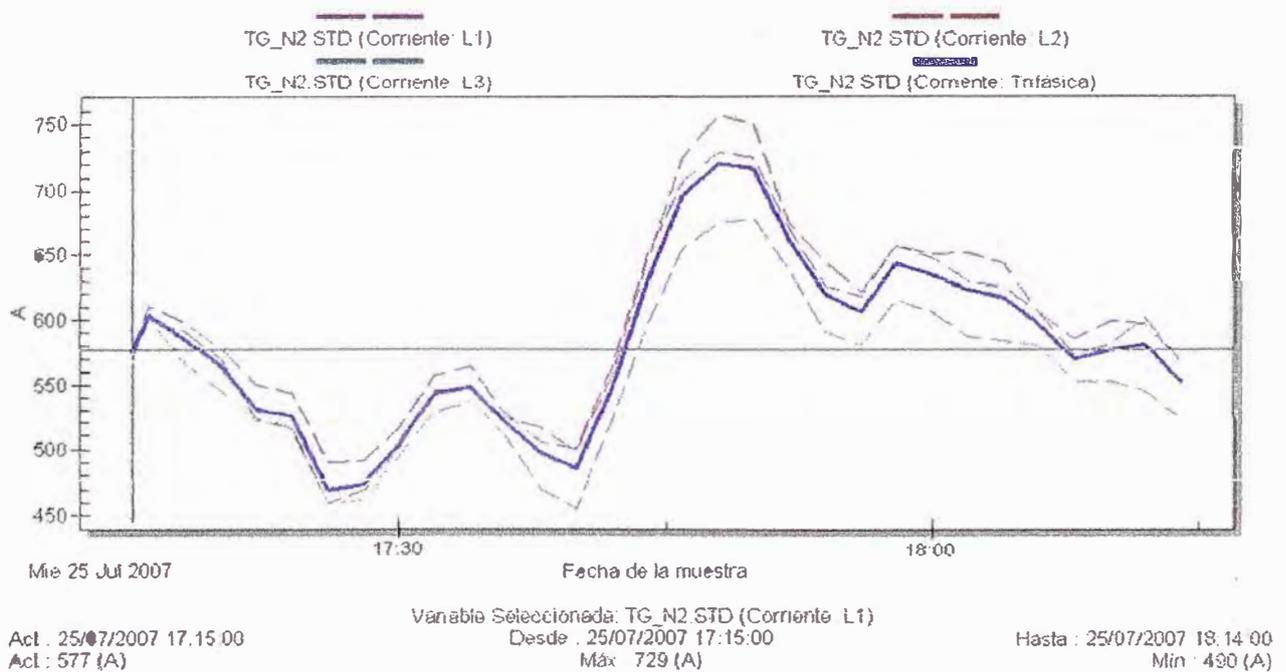


Figura 8.25 Corriente TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

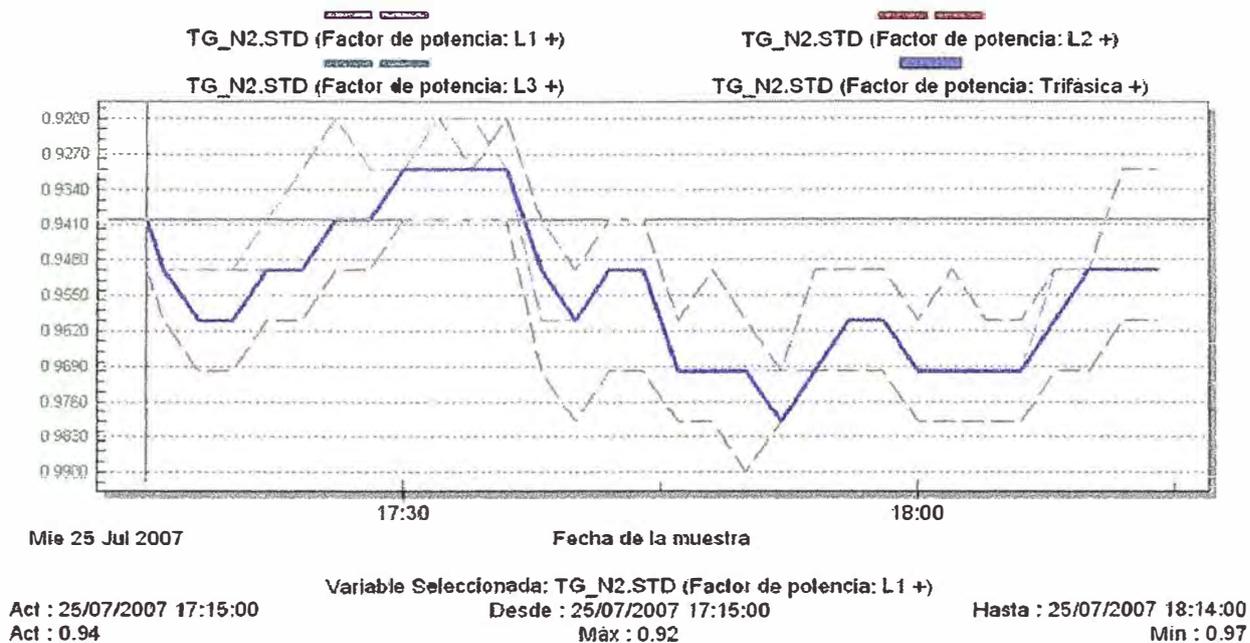


Figura 8.26 Factor de Potencia TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

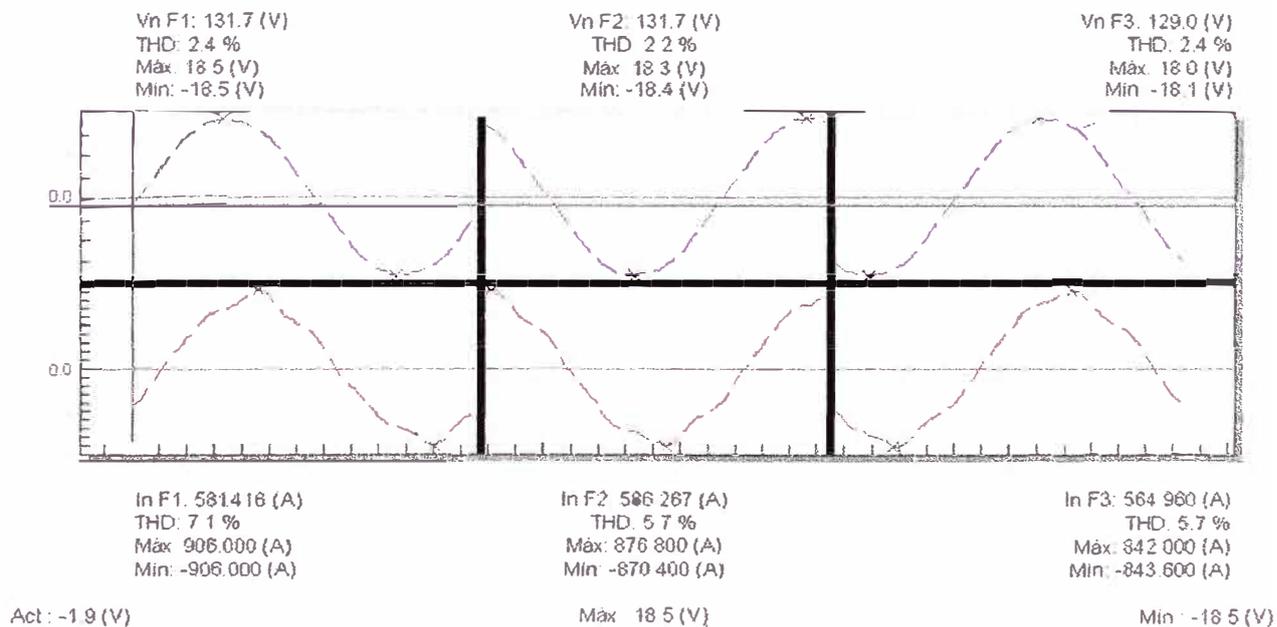


Figura 8.27 Forma de Onda TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

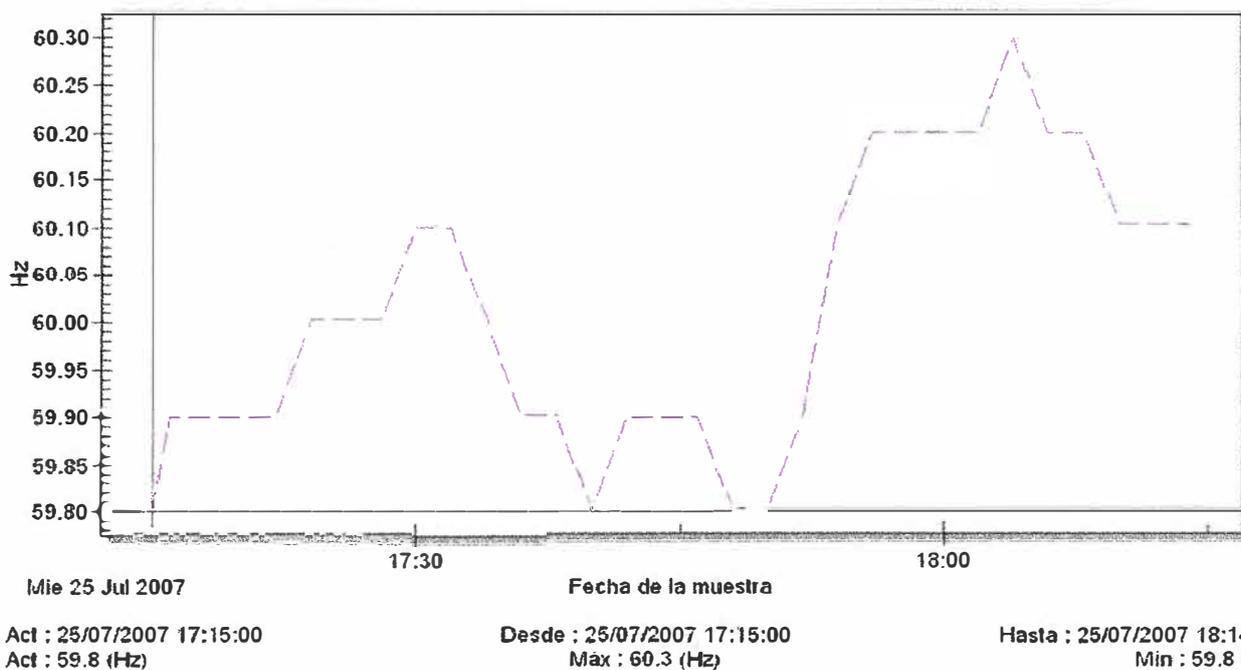


Figura 8.28 Frecuencia TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

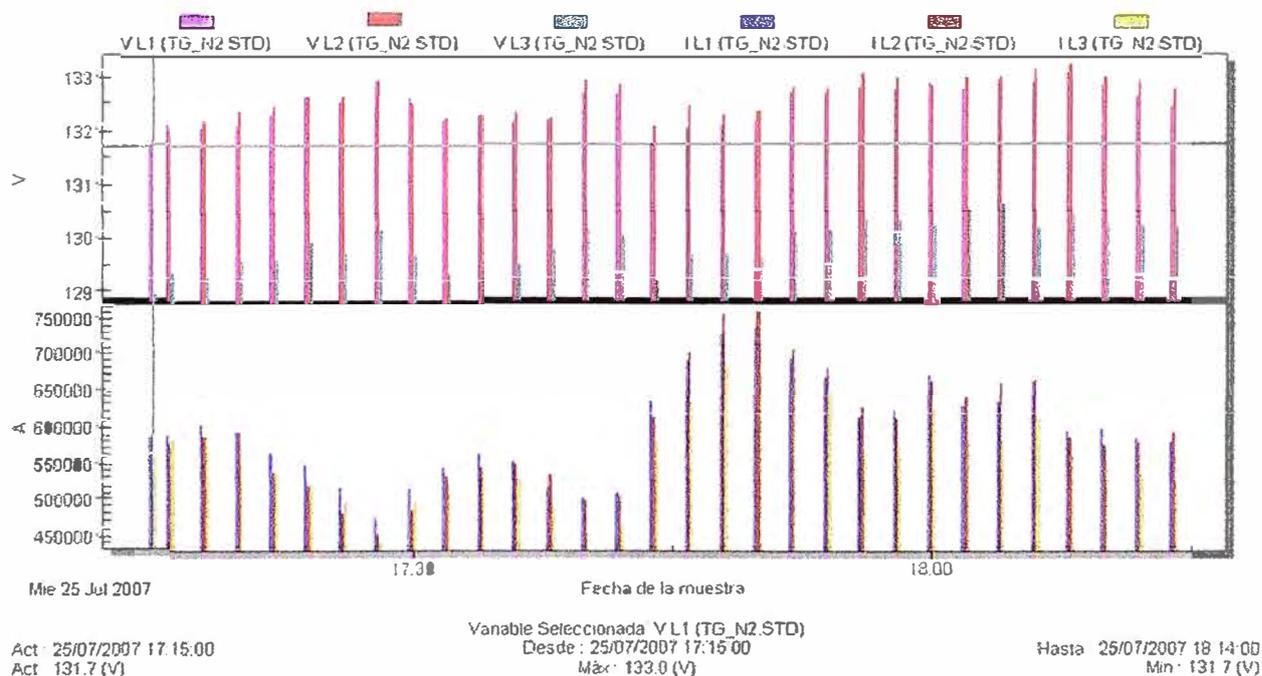


Figura 8.29 RMS TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

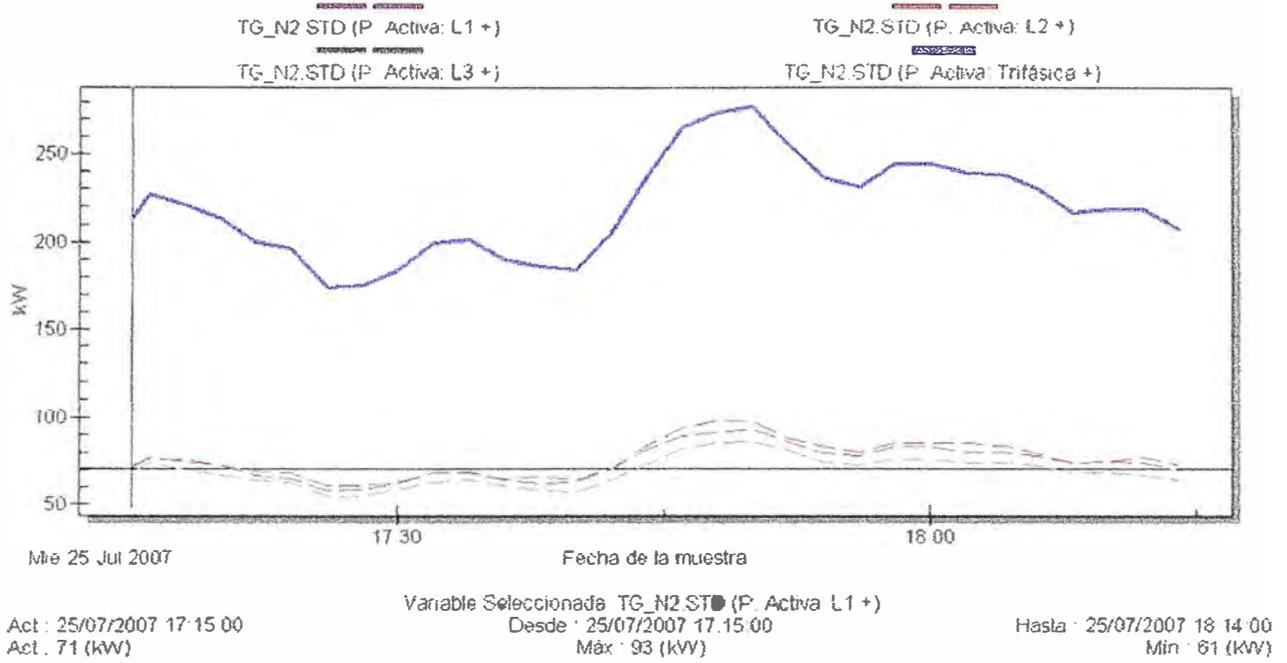


Figura 8.30 Potencia Activa TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

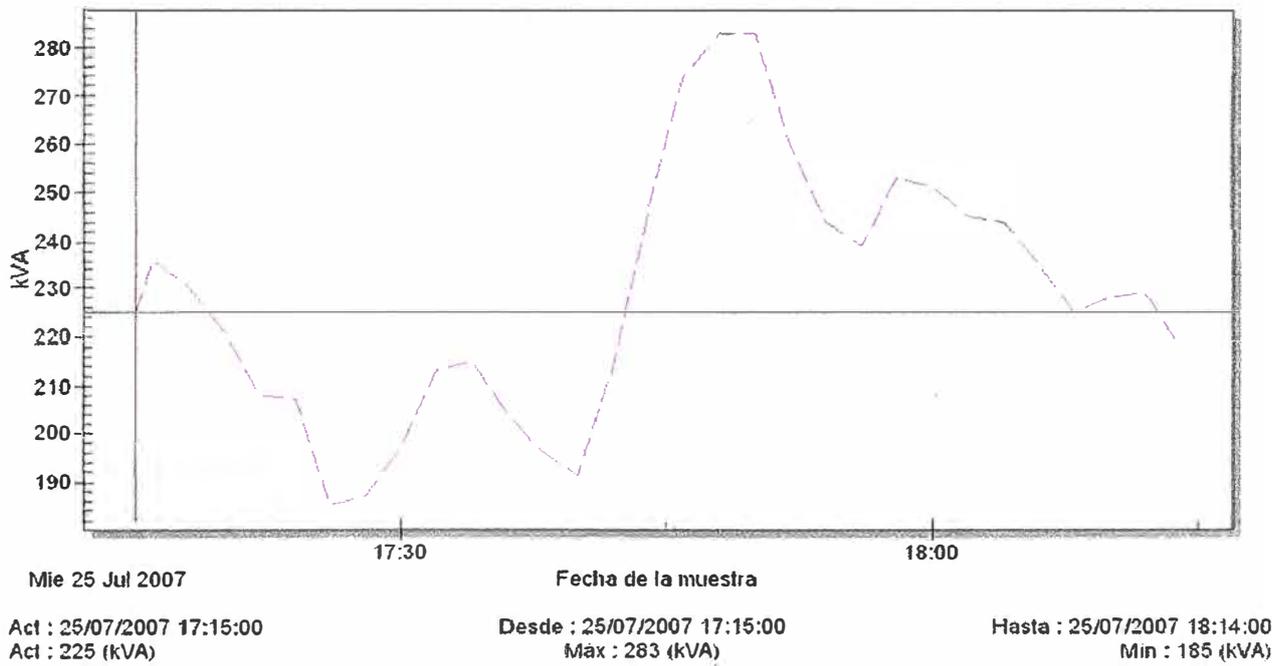


Figura 8.31 Potencia Aparente TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

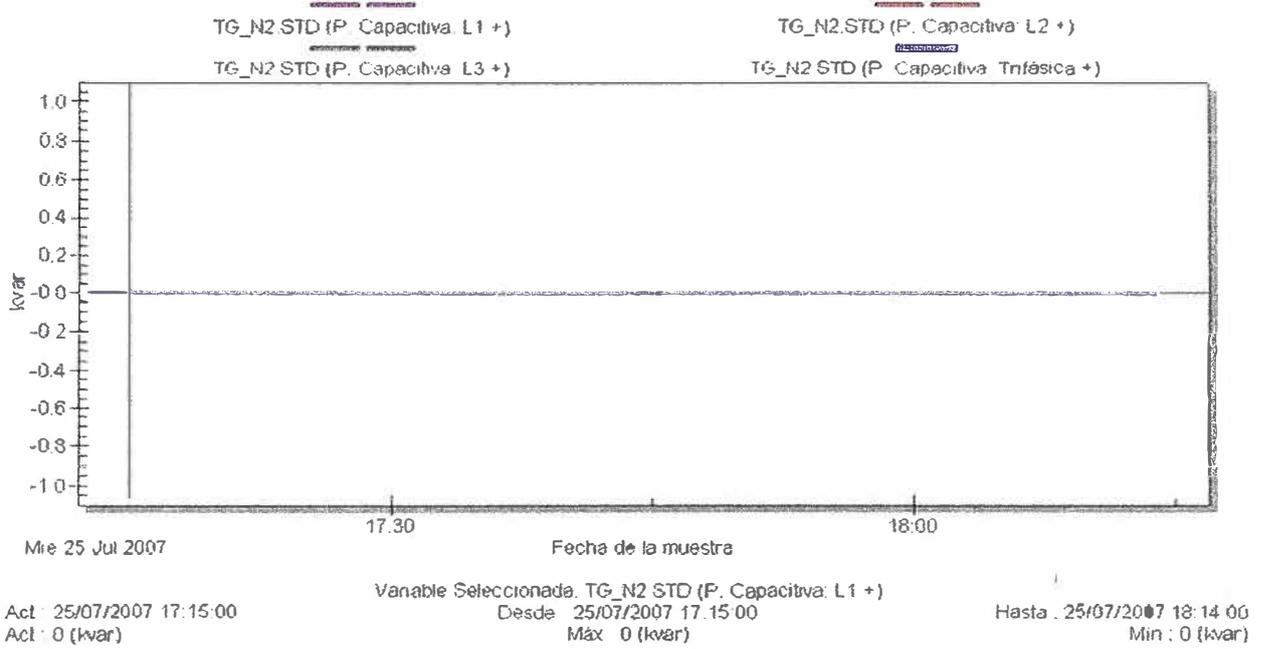


Figura 8.32 Potencia Capacitiva TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

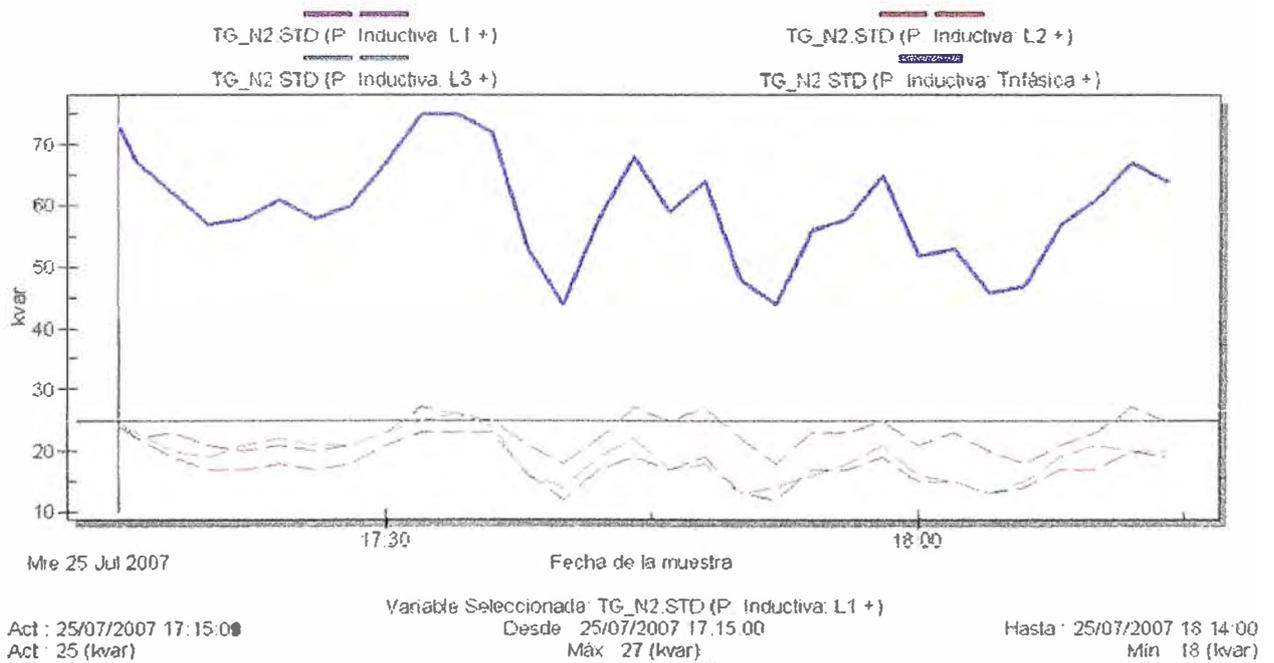


Figura 8.33 Potencia Inductiva TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

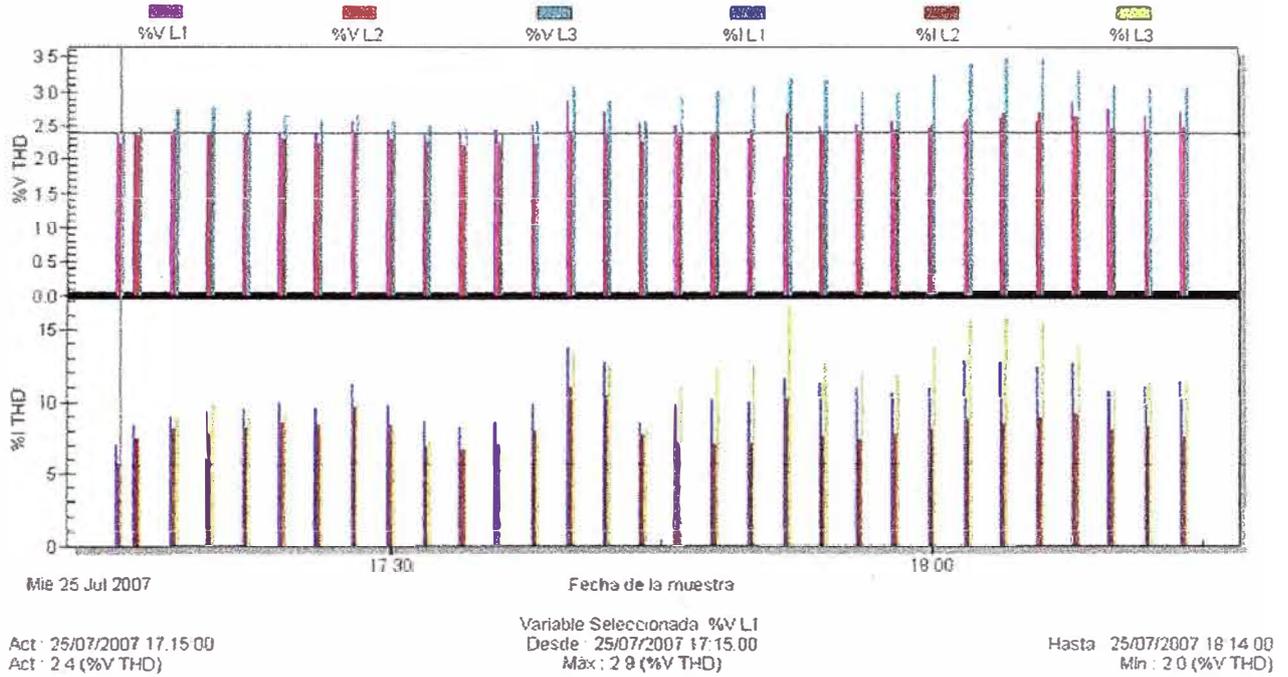


Figura 8.34 Tasa de Distorsión Armónica TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

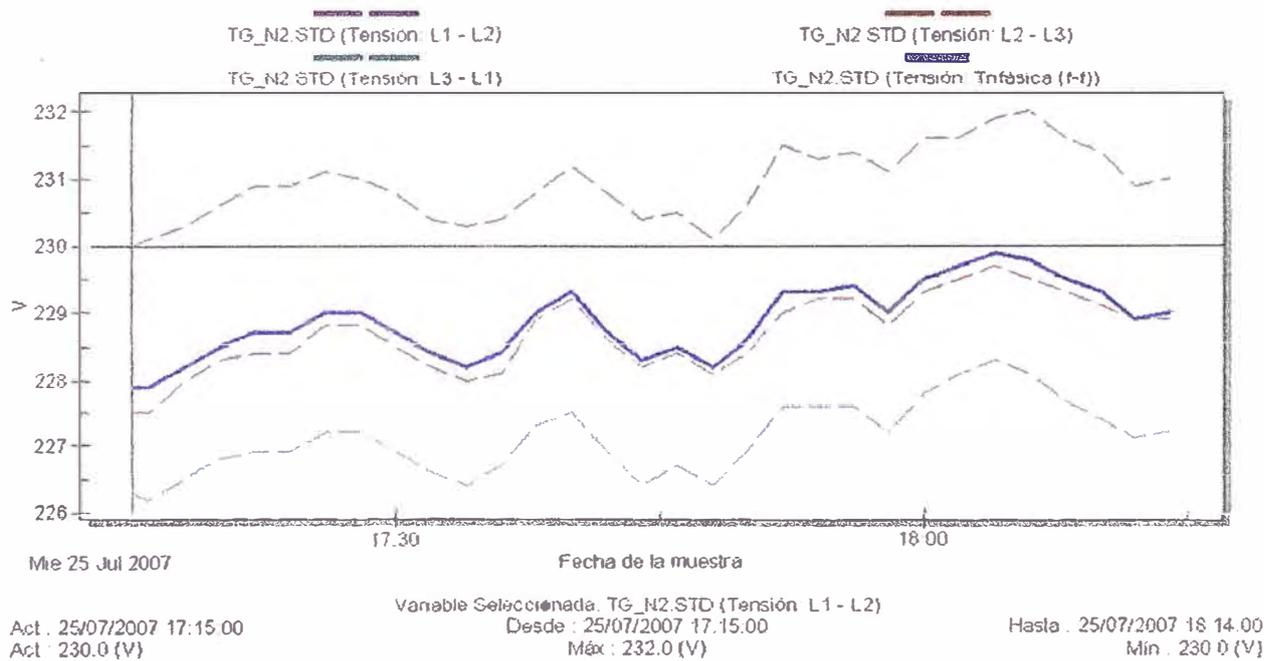


Figura 8.35 Tensiones TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura

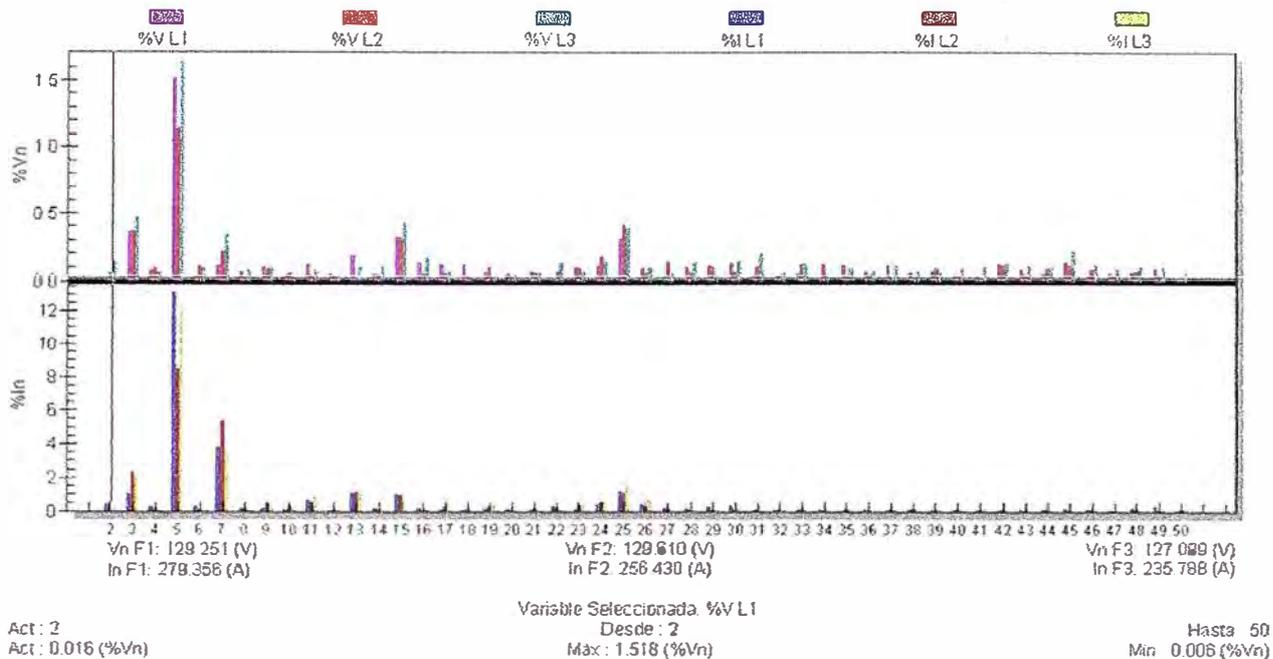


Figura 8.36 Armónicos TG-N2 – Saga Falabella S.A. Piura 25/07/2007 16:07

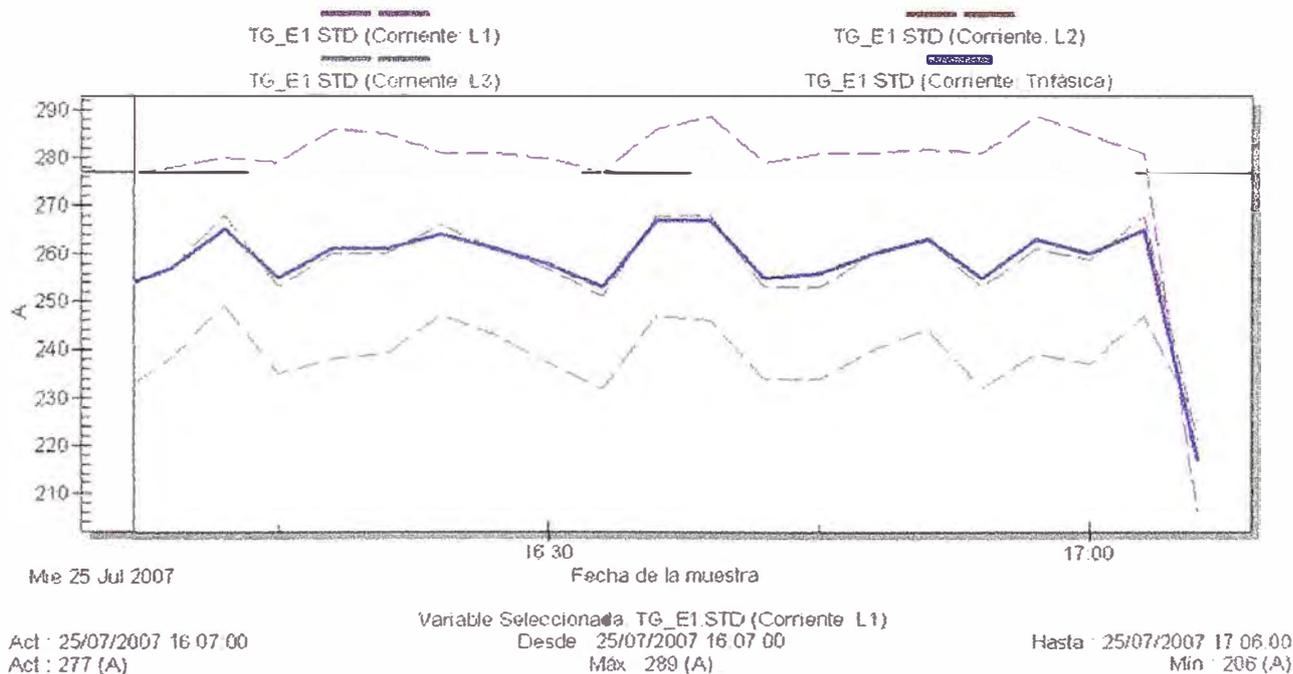


Figura 8.37 Corrientes TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura 25/07/2007 16:07

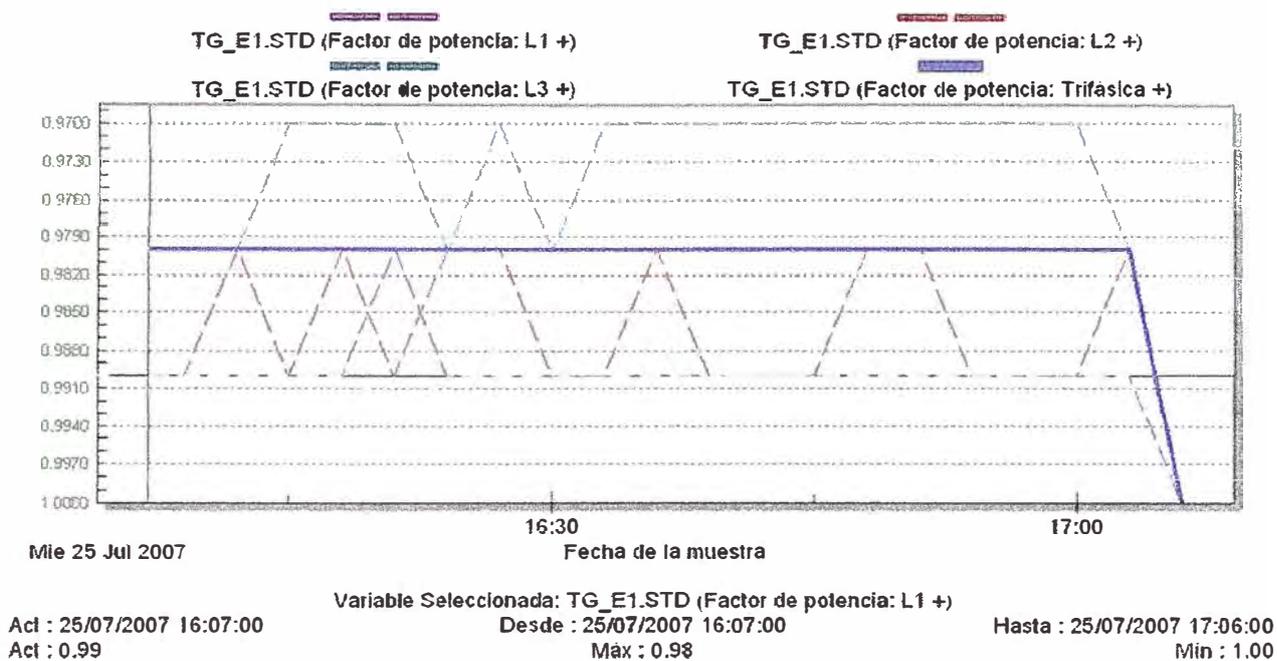


Figura 8.38 Factor de Potencia TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

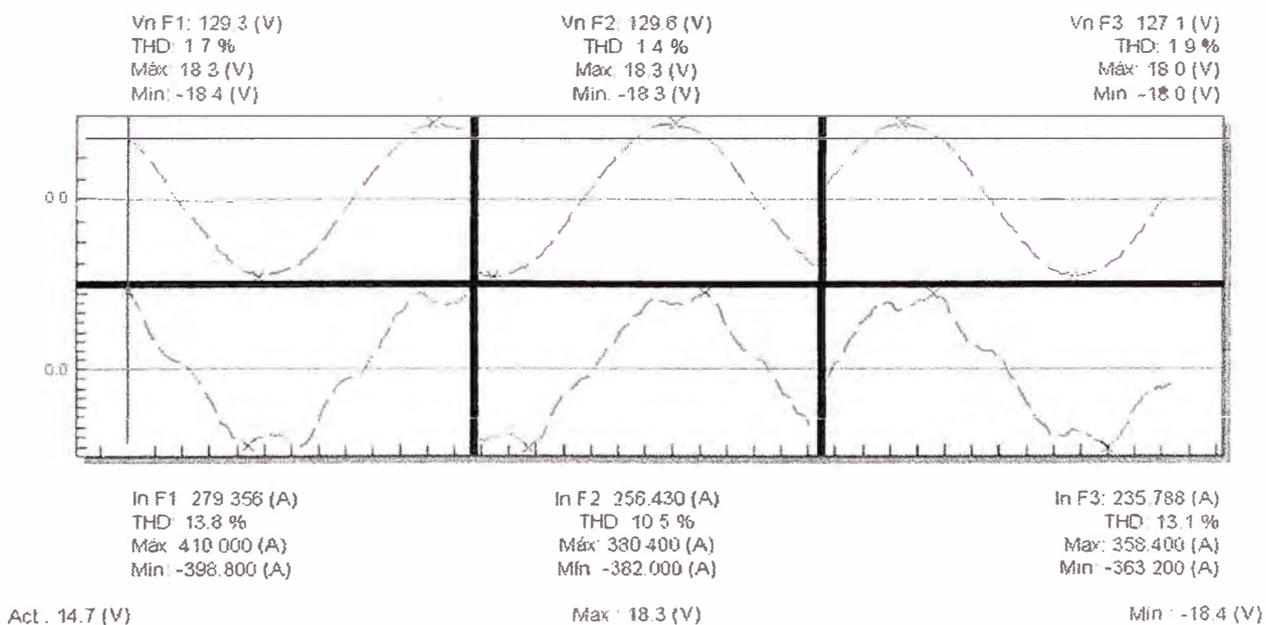


Figura 8.39 Forma de Onda TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

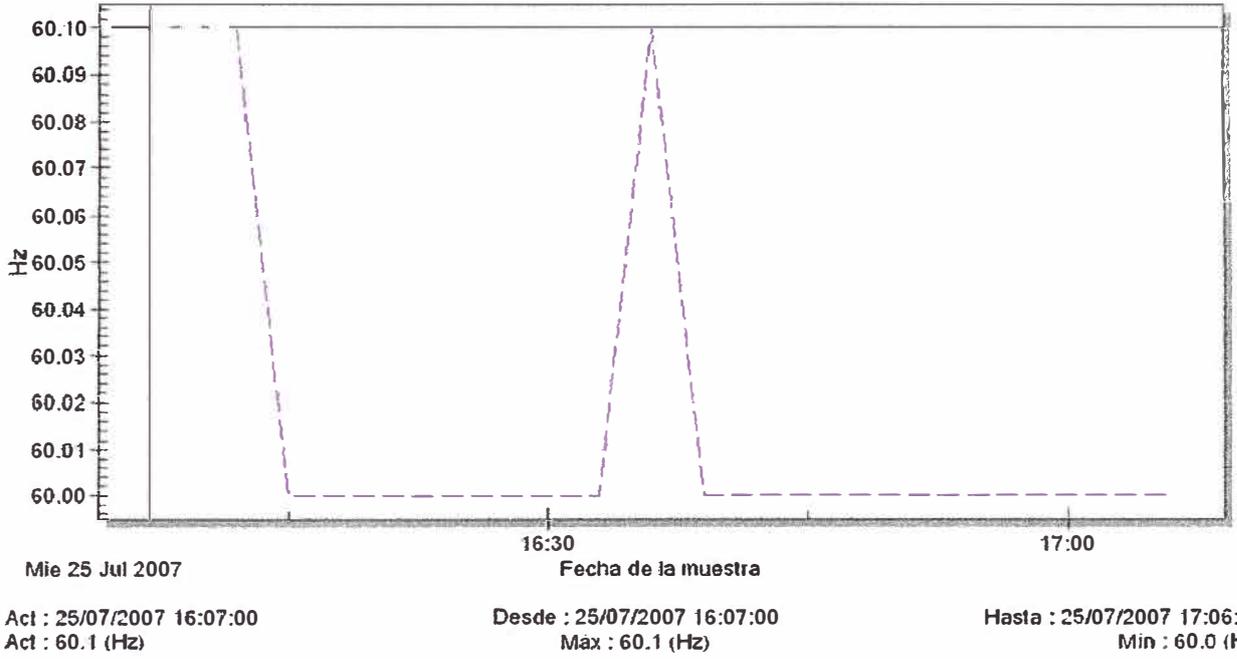


Figura 8.40 Frecuencia TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

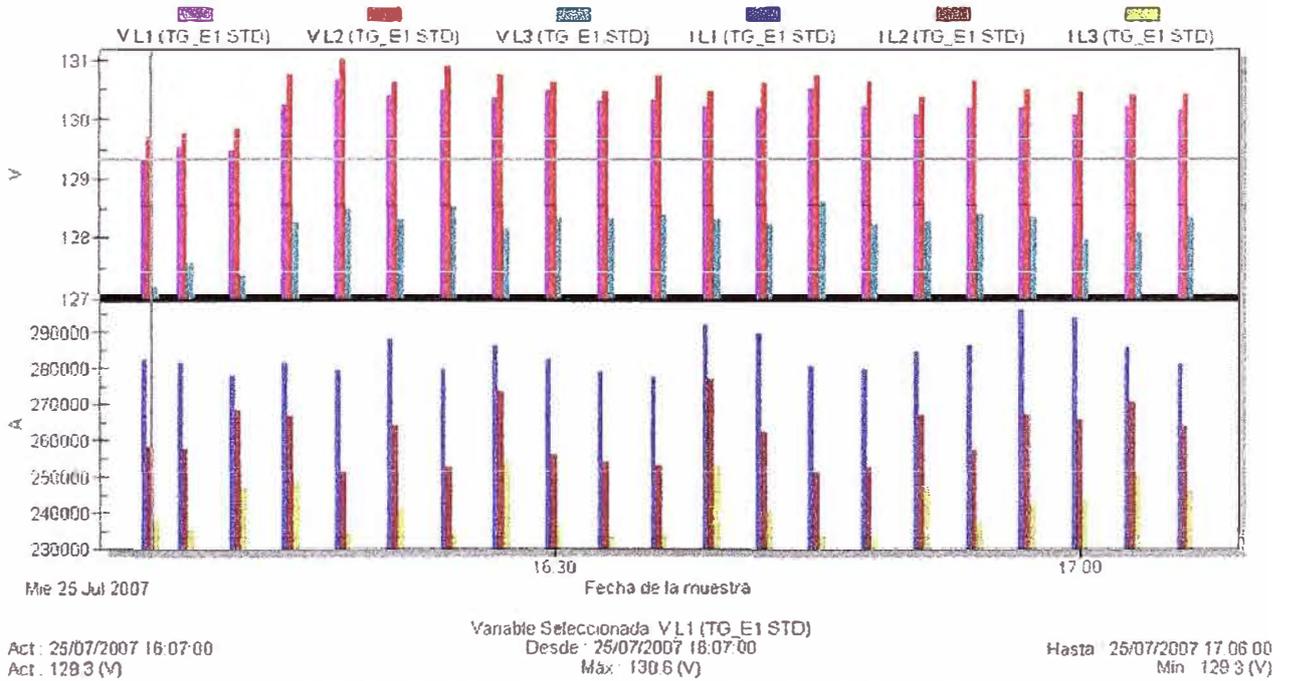


Figura 8.41 RMS TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

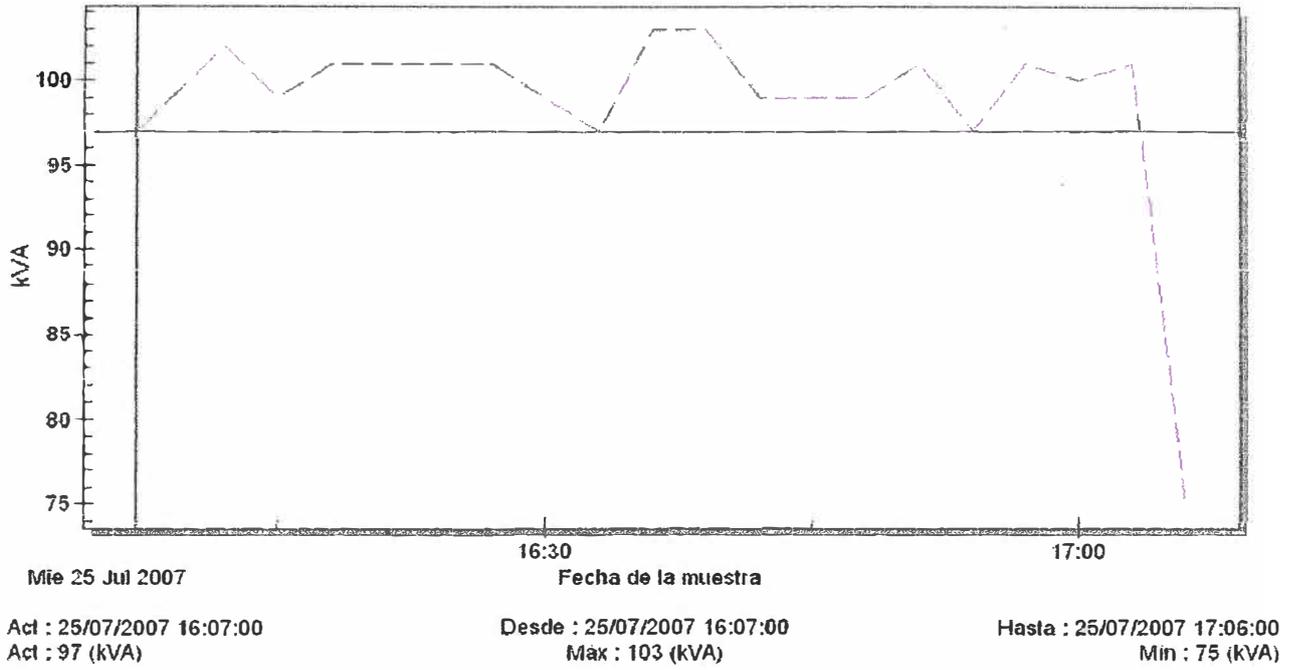


Figura 8.42 Potencia aparente TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

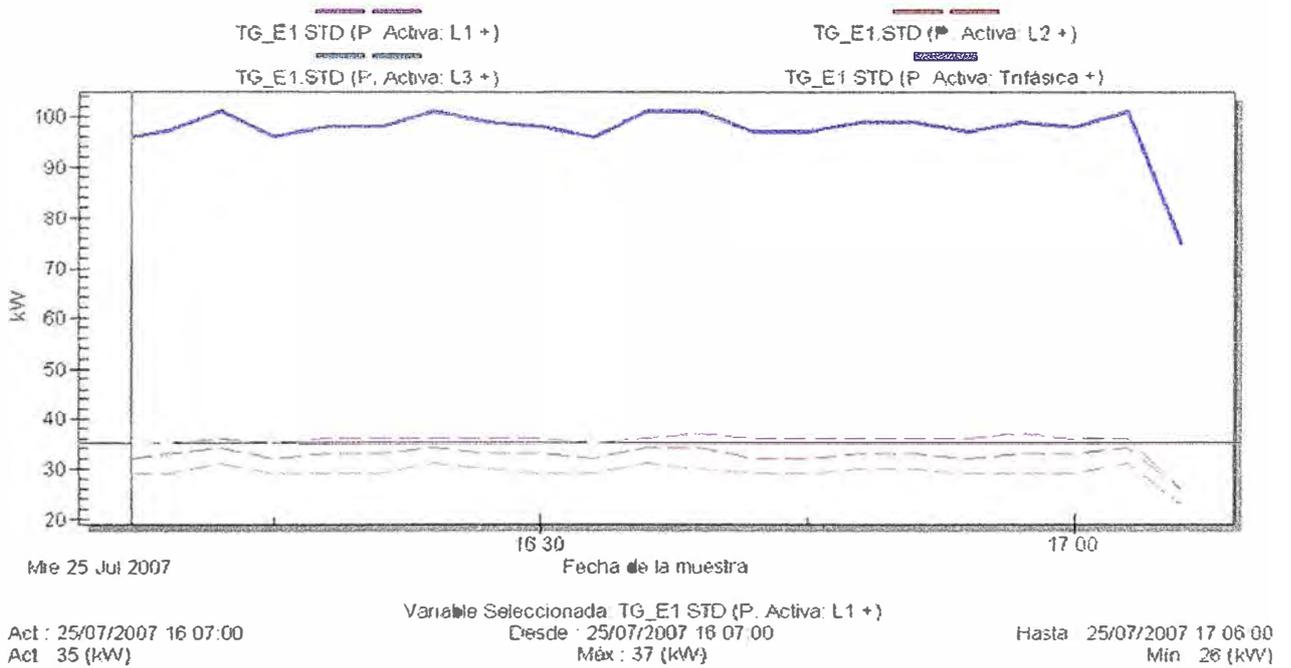


Figura 8.43 Potencia Activa TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

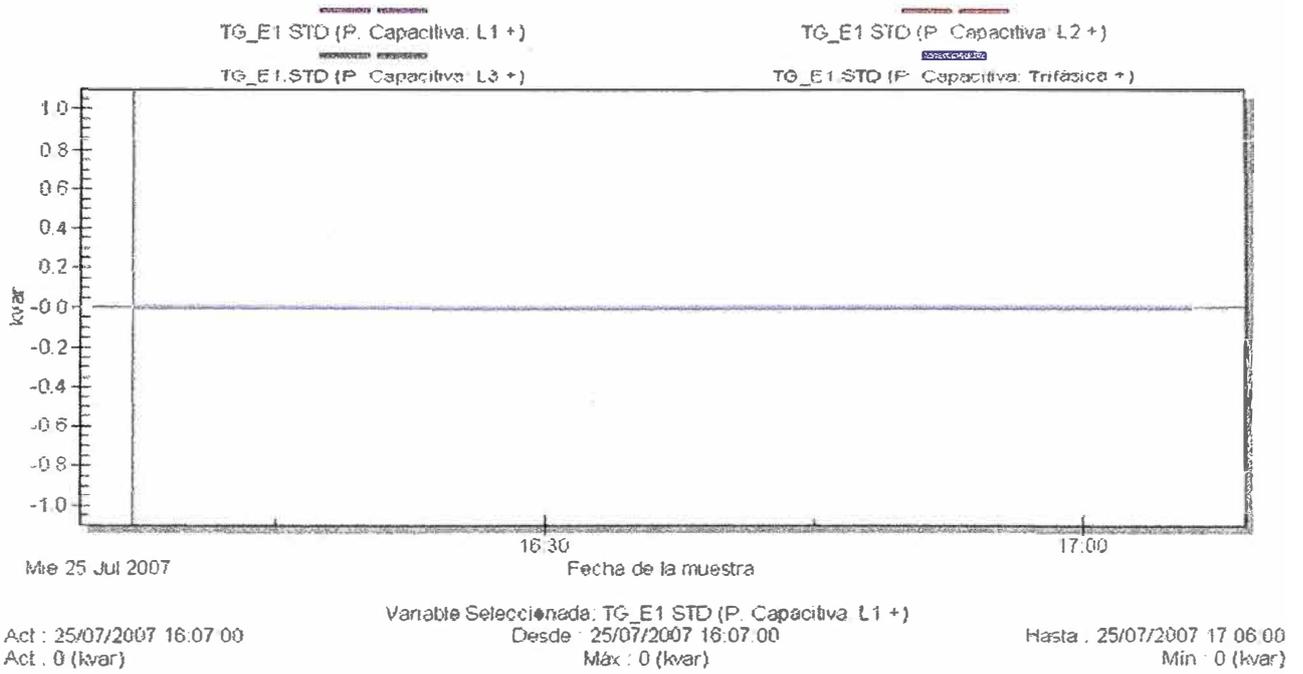


Figura 8.44 Potencia Capacitiva TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

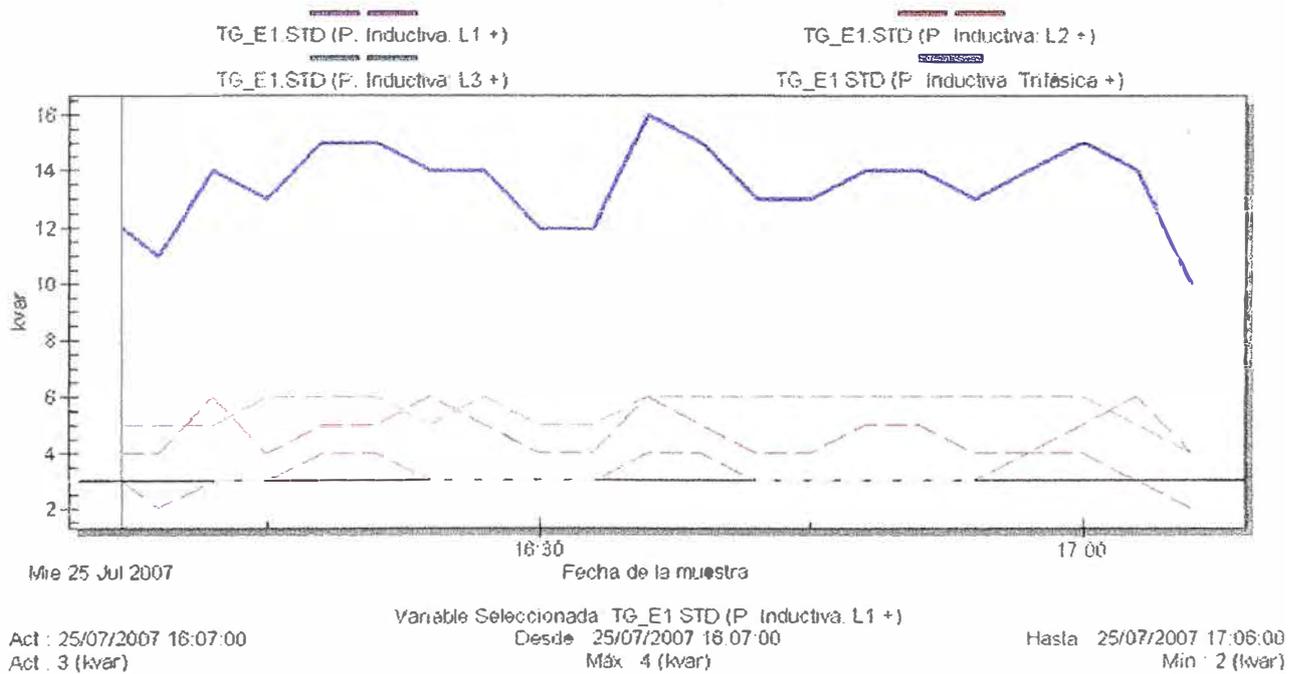


Figura 8.45 Potencia Inductiva TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

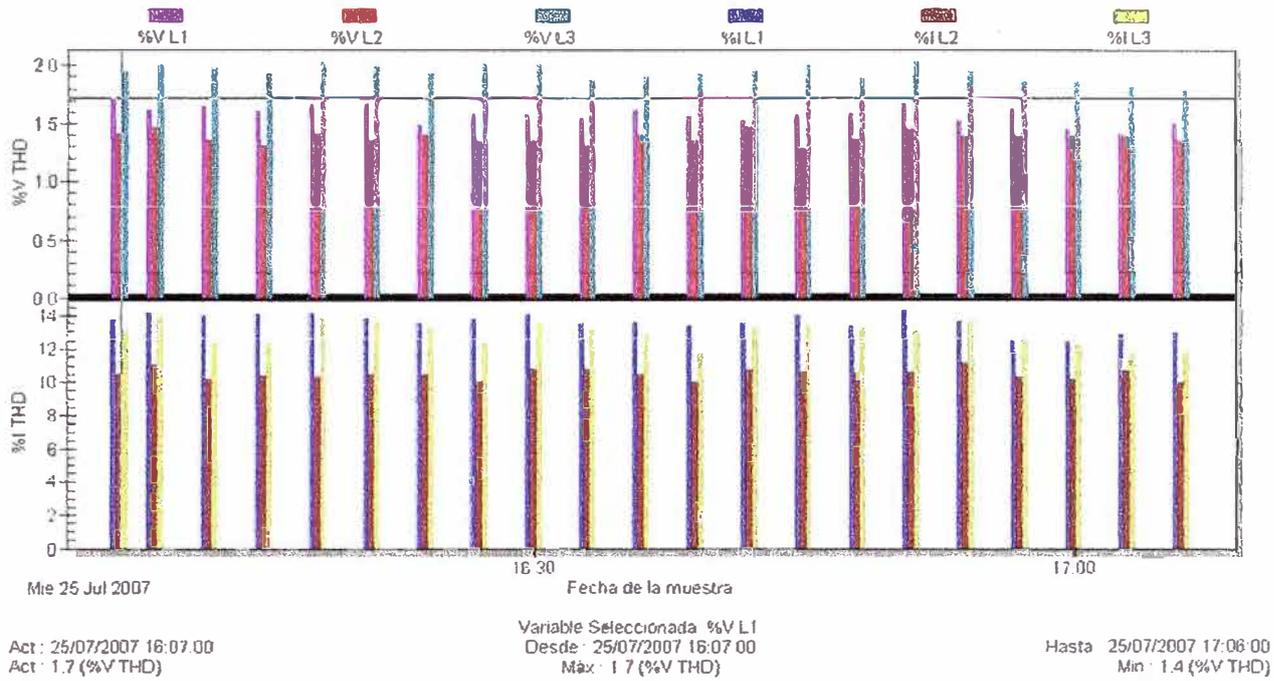


Figura 8.46 Tasa de Distorsión Armónica TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

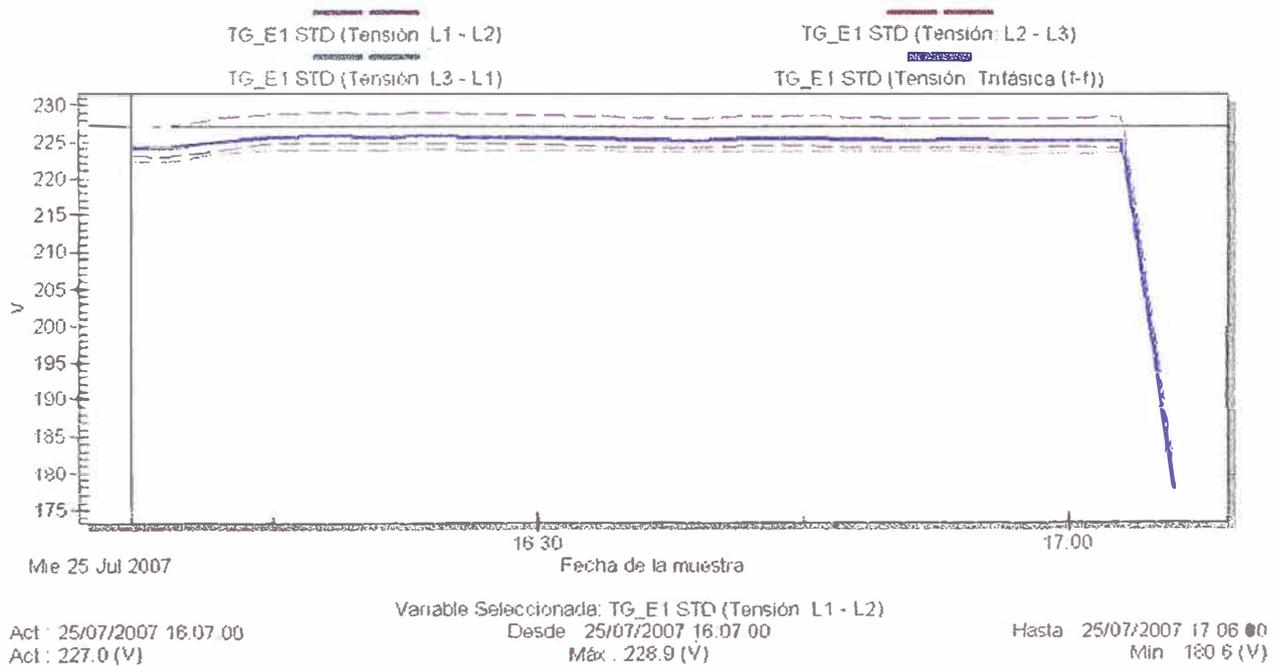


Figura 8.47 Tensión TG-E1 – Saga Falabella S.A. Piura

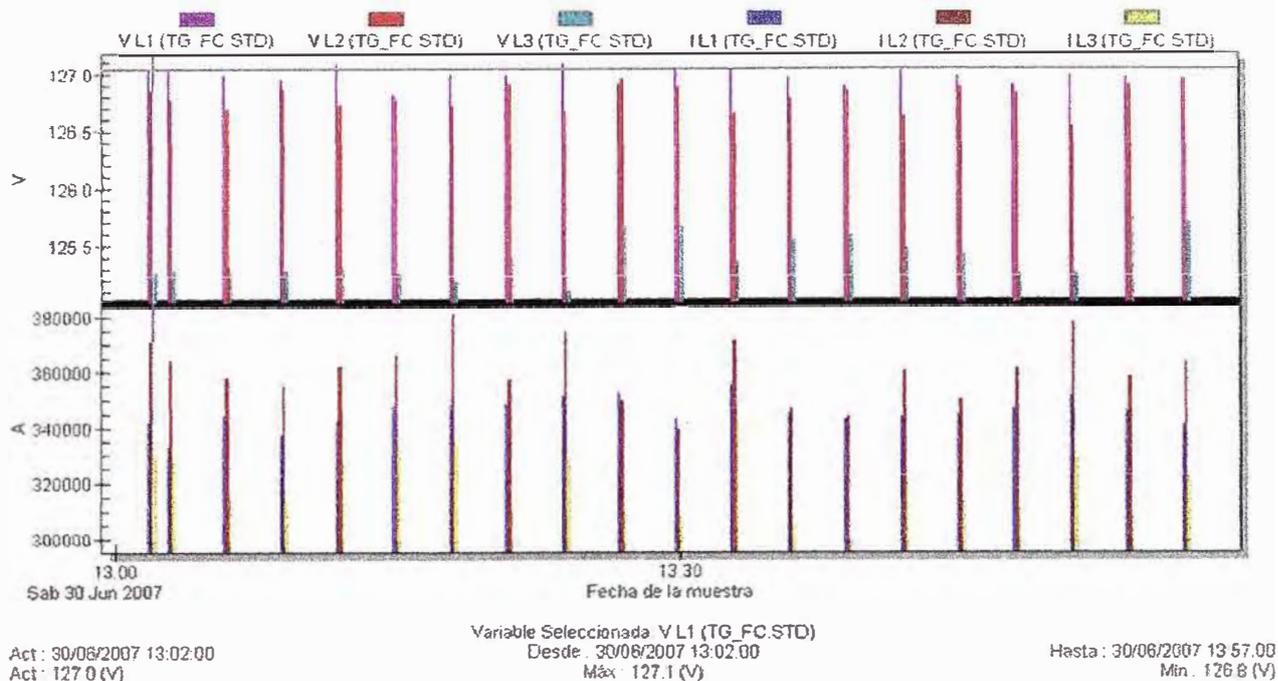


Figura 8.48 Tensión TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

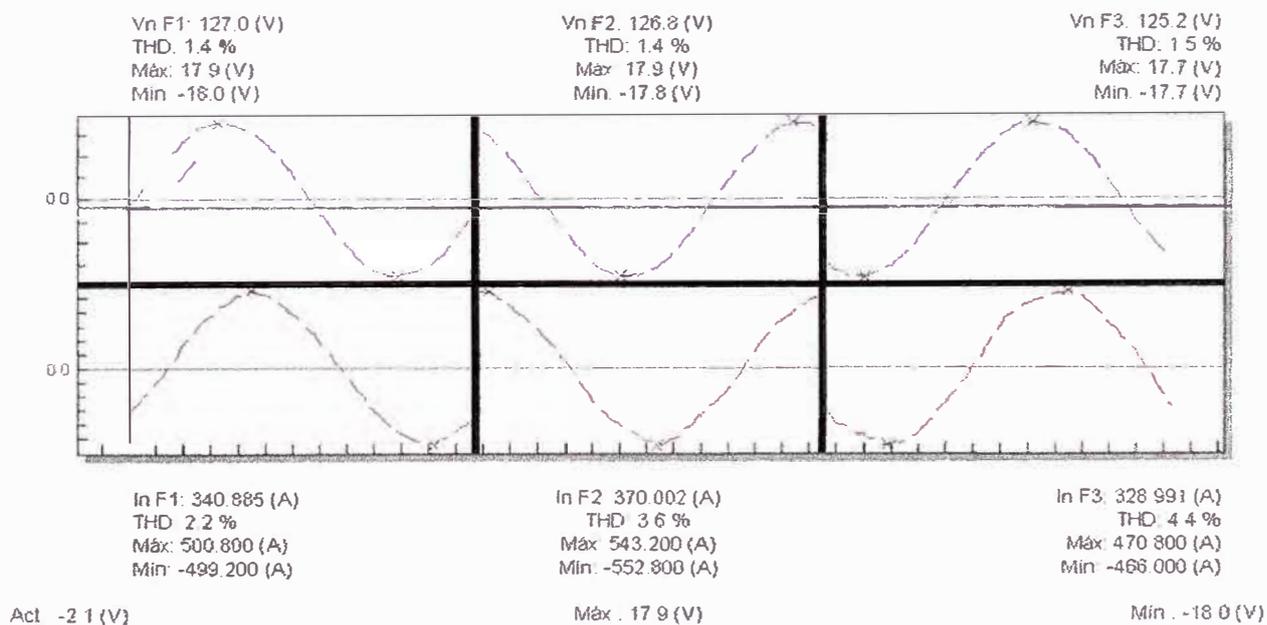


Figura 8.49 Forma de Onda TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

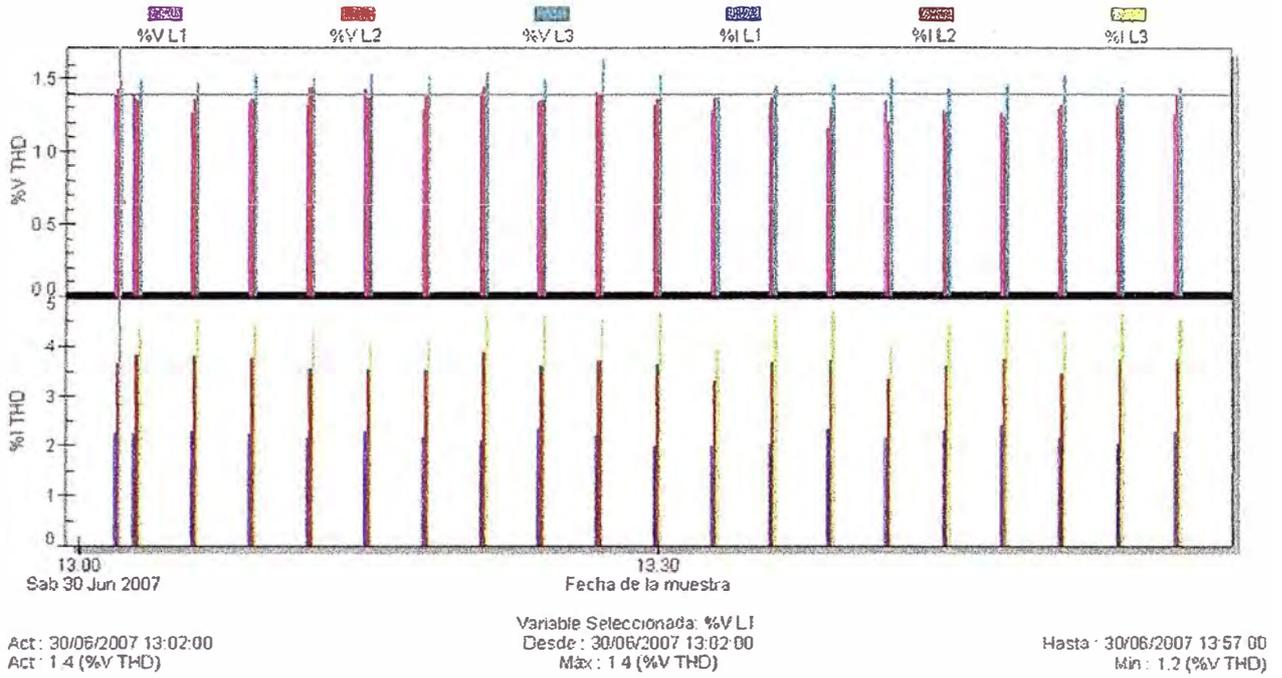


Figura 8.50 Tasa de Distorsión Armónica TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

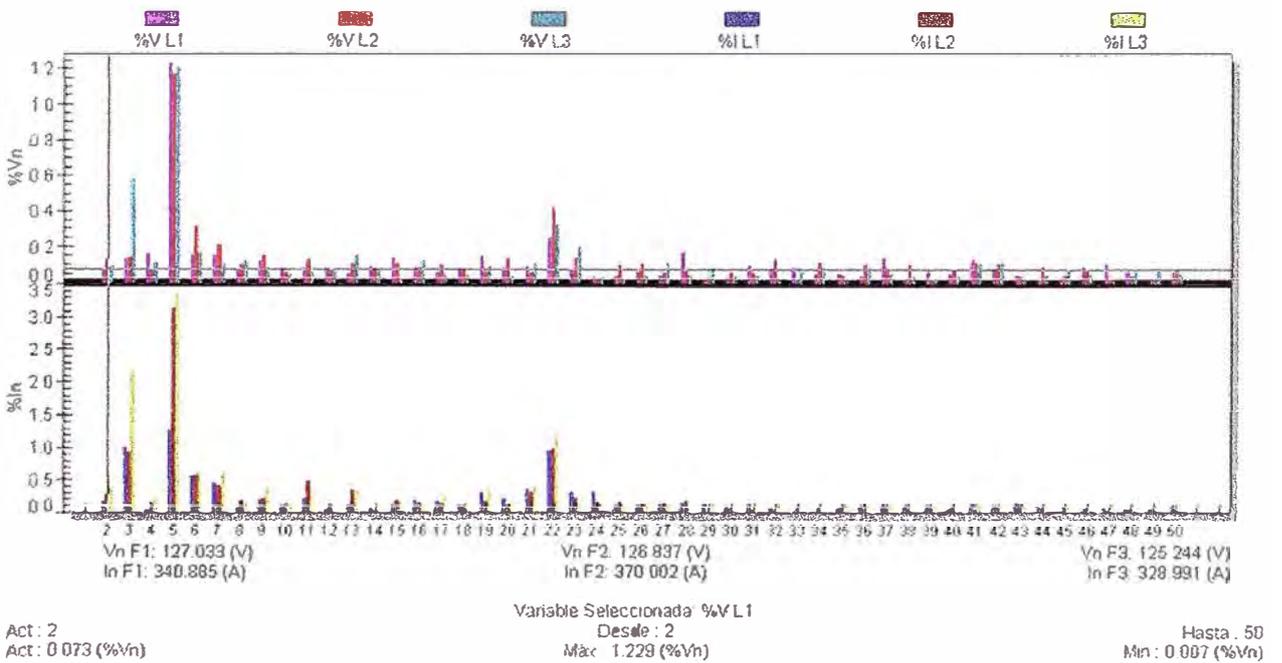


Figura 8.51 Tasa de Distorsión Armónica TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

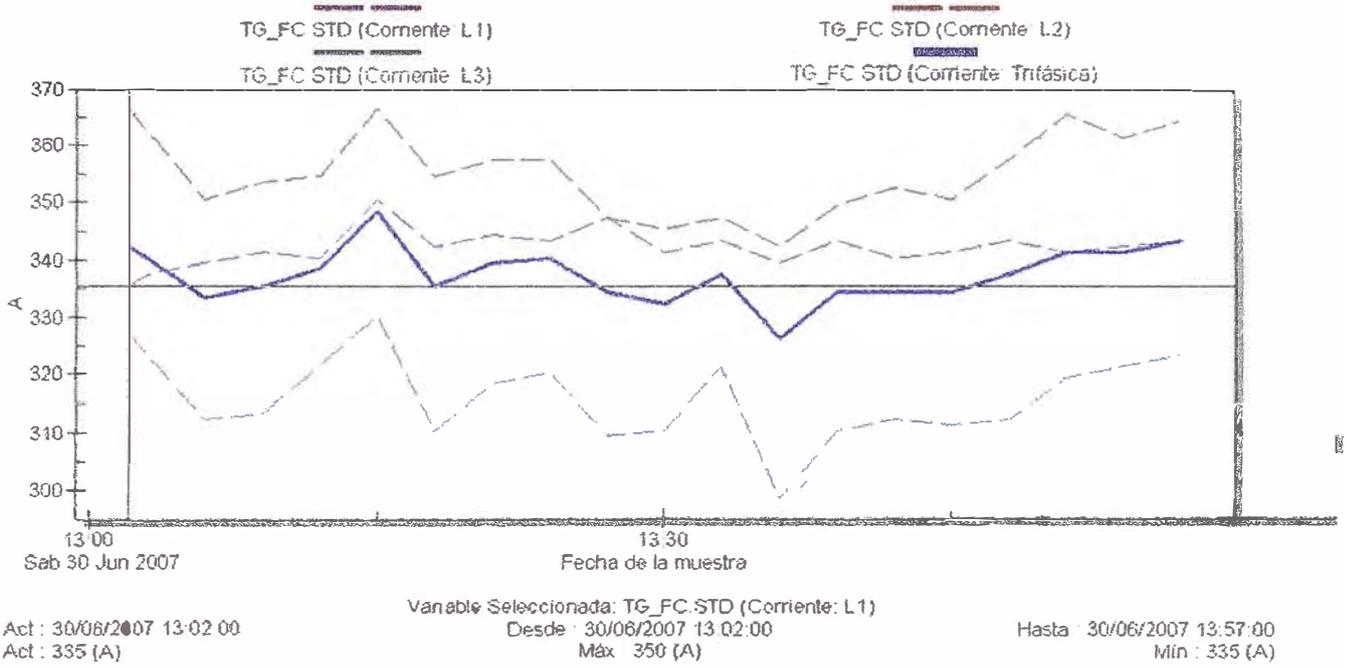


Figura 8.52 Corriente TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

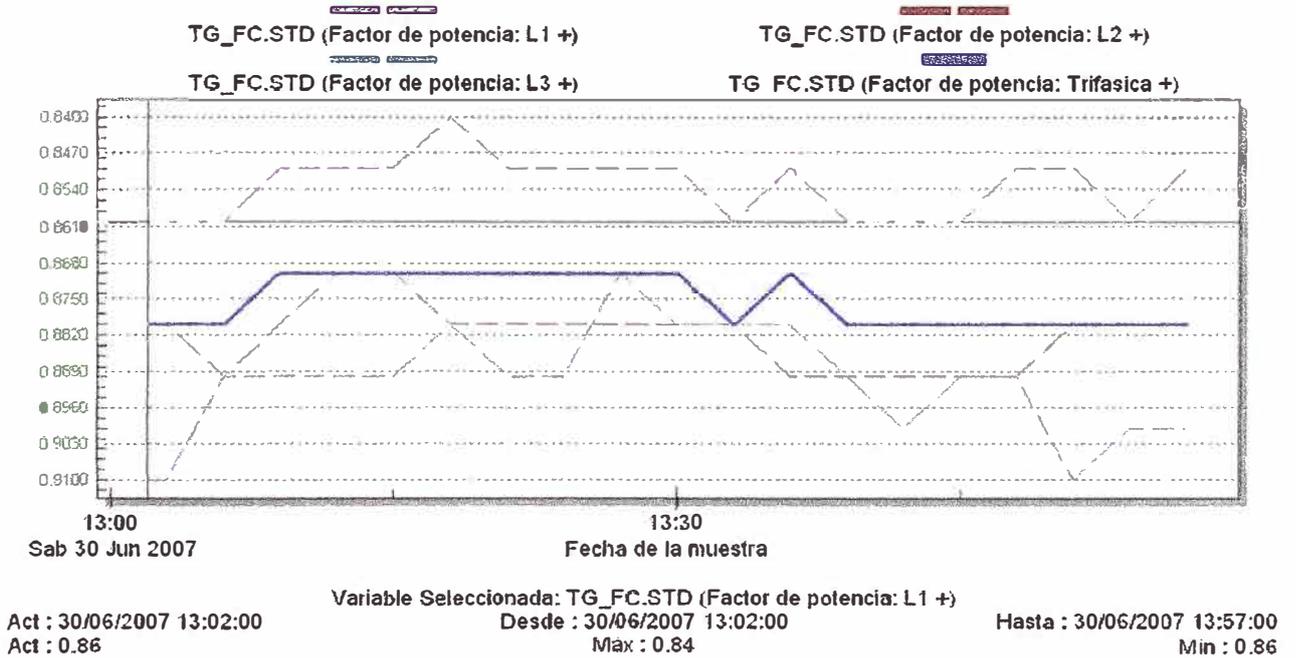


Figura 8.53 Factor de Potencia TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

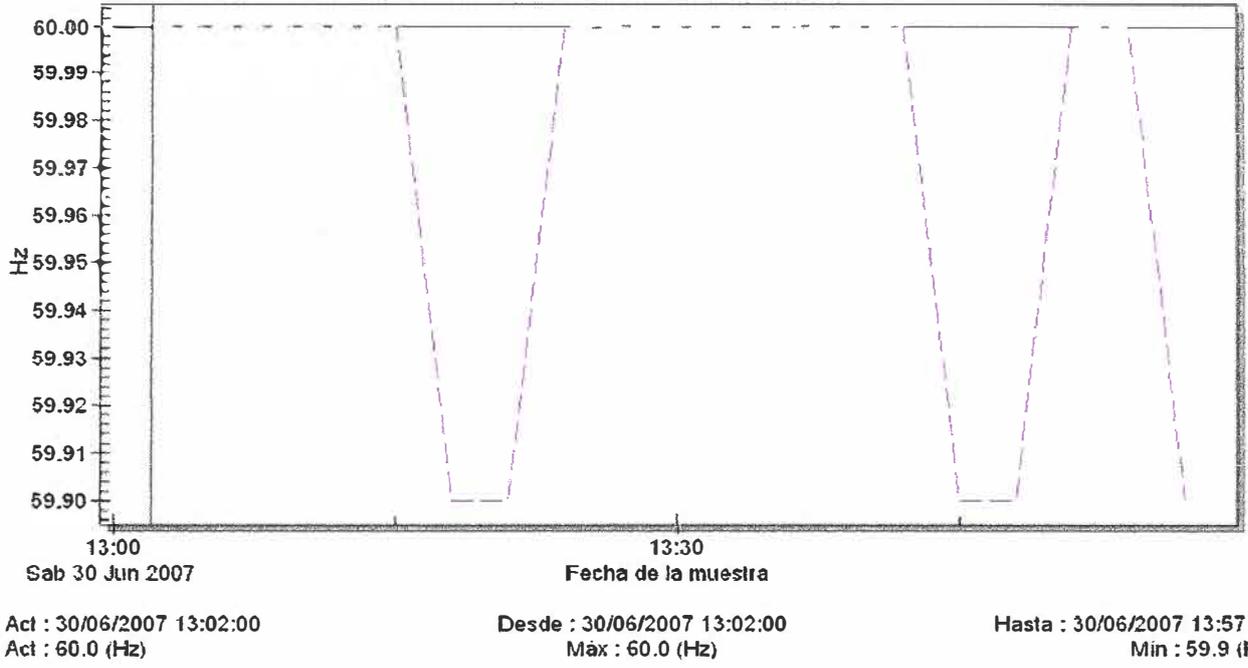


Figura 8.54 Frecuencia TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

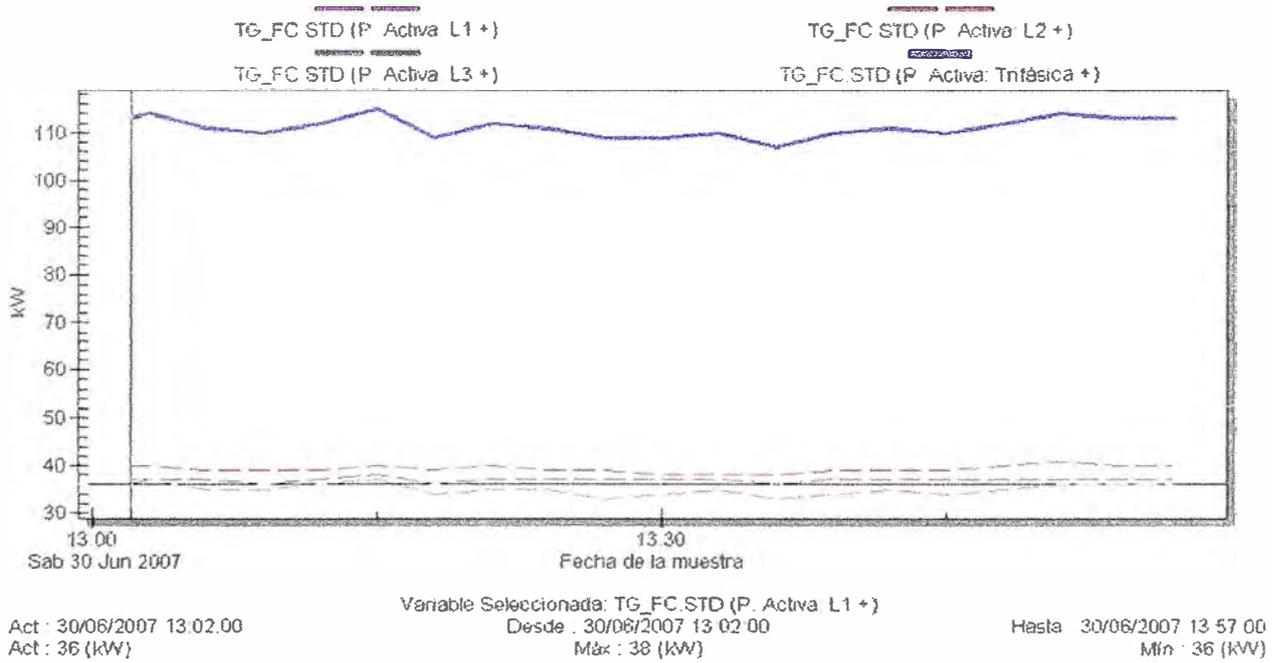


Figura 8.55 Potencia Activa TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

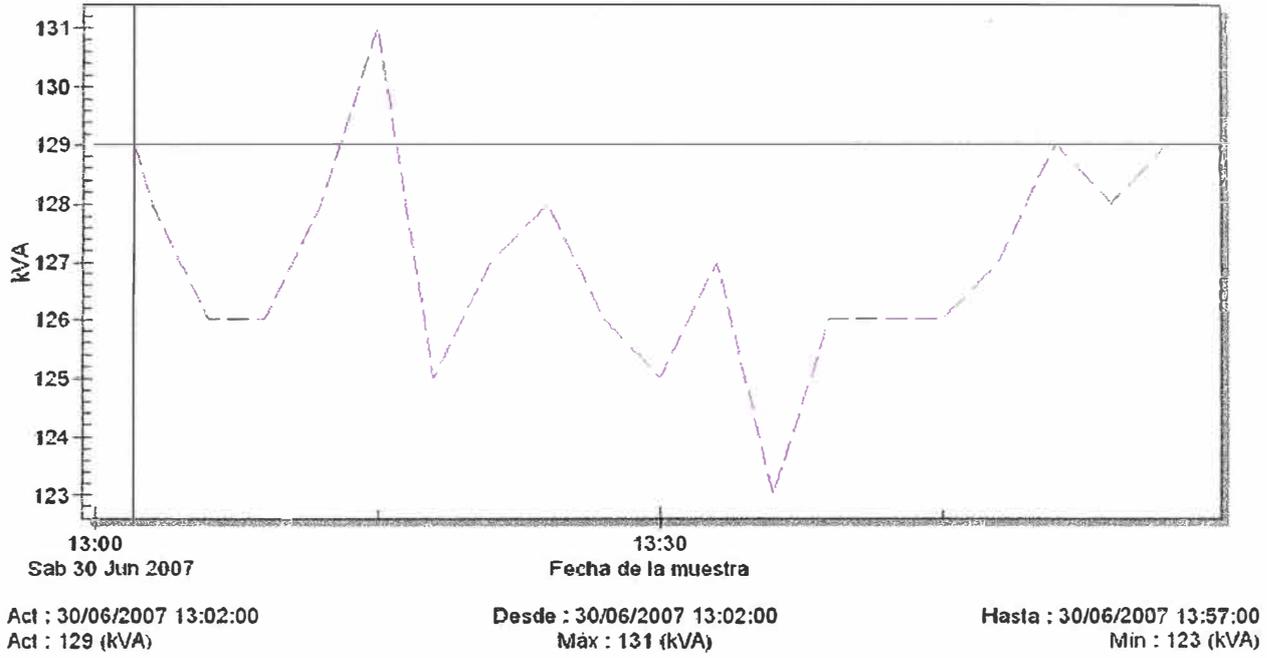


Figura 8.56 Potencia Aparente TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

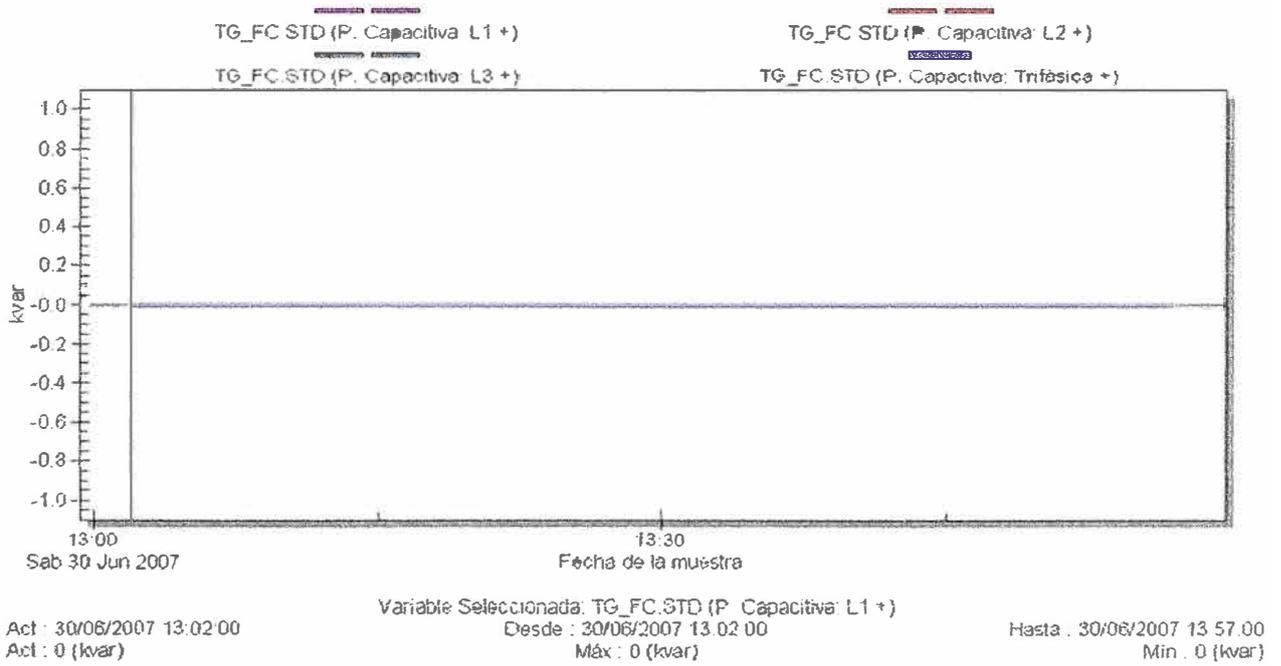


Figura 8.57 Potencia Capacitiva TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

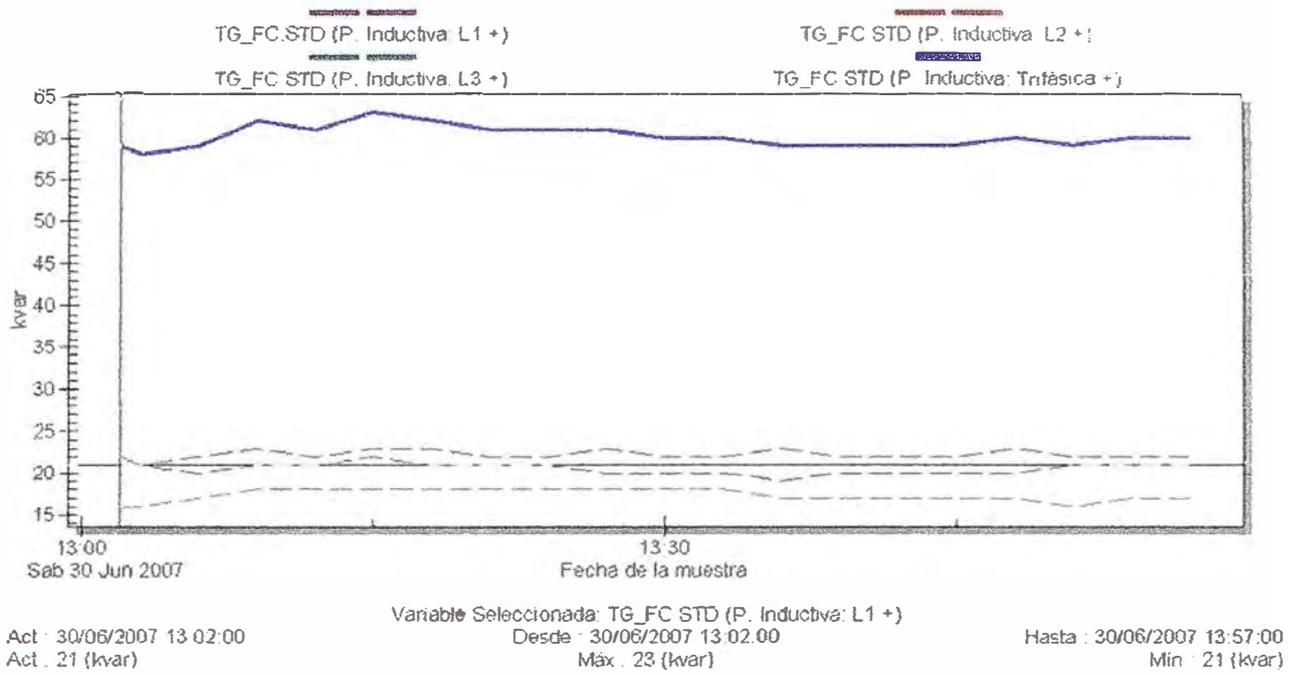


Figura 8.58 Potencia Inductiva TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

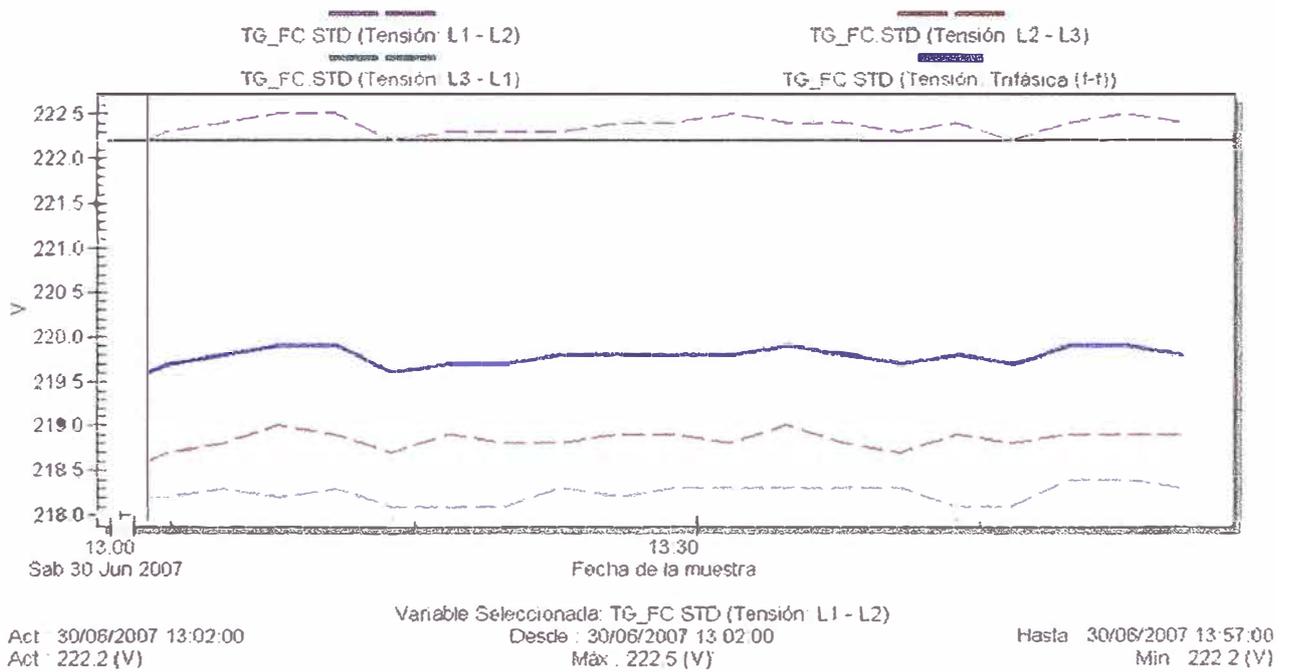


Figura 8.59 Tensión TG-FC – Saga Falabella S.A. Piura

CONCLUSIONES

1. Tienda Curacao

- Para las muestras obtenidas por el analizador se observa que los valores de tensión se encuentran dentro de los límites permitidos por las normas eléctricas NTCSE y CNE (Utilización) (+/- 5%)
- Existe un desbalance 18.8%, 24.7%, 16.45%, en las fases 1-2, 2-3, 1-3, respectivamente, aunque no son constantes no se encuentran dentro de los valores más recomendables. (5%)
- La potencia reactiva resultante se encuentra al redor de 37% de la activa, lo que excede al 30% establecido como cantidad de potencia reactiva permitida en la red dado por el CNE – Utilización, se recomendó la instalación de un banco de condensador para la mejora del factor de potencia.
- El factor de potencia se encuentra en valor máximo de 0.85, por debajo de lo requerido, ello debido a la presencia de cargas no lineales generadoras de potencia reactivas.
- Los valores de frecuencia se encuentran dentro de los límites pedidos por las Normas NTCSE +/- 6% durante el 97% del tiempo de medición.
- De lo observado en Figura 8.11 para el THDv durante el período de medición, no excede el 8% total establecido por la NTCSE para el THDv. Por otro lado es bueno mencionar que si bien no está inmerso dentro de la NTCSE el THDi, su magnitud puede ser perjudicial para los equipos asociados a las cargas existentes y conectadas al sistema

2. Centro Comercial Saga Falabella Piura

a) TG-N1

- La potencia reactiva inductiva se encuentra dentro de los límites establecido por el CNE. $PRI=30\%PA$ (PRI: potencia reactiva inductiva, PA: potencia activa).
- El factor de potencia Max es de 0.94, lo cual indica una buena distribución de caras y una buena compensación

- El nivel de tensión se encuentra dentro de los límites establecidos por el CNE ($\pm 5\% V_n$). de la gráfica se obtiene $V_{max} = 229.1V$ que representa el 4% de la Tensión Nominal
- La grafica de distorsión armónica muestra un presencia de armónicos en el THD_v , dentro de límites establecidos por la normas NTCE, ($THD_v=8\%$).
- Los valores que se obtienen en la gráfica de frecuencia arrojan como valor máximo 60.2 Hz, el incremento esta dentro del 6% que exigen como máxima distorsión la NTCE.

b) TG-N2

- La potencia reactiva inductiva se encuentra dentro de los límites establecido por el CNE. $PRI=30\%PA$ (PRI: potencia reactiva inductiva,
- El factor de potencia Max es de 0.92, lo cual indica una adecuada distribución de cargas y compensación.
- El nivel de tensión se encuentra con un valor máximo de 232V ligeramente por encima del límite establecido de los límites establecidos por el CNE la variación debe ser del 5% por encima de la V nominal, la $V_{max} = 231V$. Valor tomado en momento de retiro de carga en el sistema.
- Los valores para el THD_v , se encuentran dentro de límites establecidos por la normas NTCE, ($THD_v=8\%$).
- Los valores que se obtienen en la gráfica de frecuencia arrojan como valor máximo 60.2 Hz, el incremento esta dentro del 6% que exigen como máxima distorsión la NTCE.

c) TG-E1

- La potencia reactiva inductiva se encuentra dentro de los límites establecido por el CNE. $PRI=30\%PA$ (PRI: potencia reactiva inductiva, PA: potencia activa).
- El factor de potencia promedio en las tres fases es de 0.98, se tiene una buena compensación.
- El nivel de tensión se encuentra dentro de los límites establecidos por el CNE la variación debe ser del $\pm 5\%$ de la V nominal.
- La grafica de distorsión armónica muestra un presencia de armónicos en el THD_v , dentro de límites establecidos por la normas NTCE, ($THD_v=8\%$).
- Los valores que se obtienen en la gráfica de frecuencia arrojan como valor máximo 60.2 Hz, el incremento esta dentro del 6% que exigen como máxima distorsión la NTCE.

d) TG-F1

- Según los diagramas de Tensión, éstas se mantienen estables para las tres fases,

presentando caídas por arranque de algunas cargas asociadas. El nivel de tensión máximo es 222.5 V valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por el CNE ($\pm 5\%$ de la V nominal).

- Del gráfico el factor de potencia trifásico promedio es de 0.875. Las reactancias inductivas tienen que ser compensadas para obtener un factor de potencia adecuado [$0.965 < F.P. < 0.98$] ello implicaría la reducción en la facturación mensual, reducción de pérdidas en los conductores, mejora el nivel de tensión, etc.
- De los gráficos de THDv se puede apreciar que los valores consignados no exceden los límites máximos permisibles de la NTCSE ($TH_{Dv}=8\%$).
- El valor máximo de la frecuencia visto en gráfica es de 60 Hz, no se encuentra problema. La NTCE establece como máximo el 6% como variación.

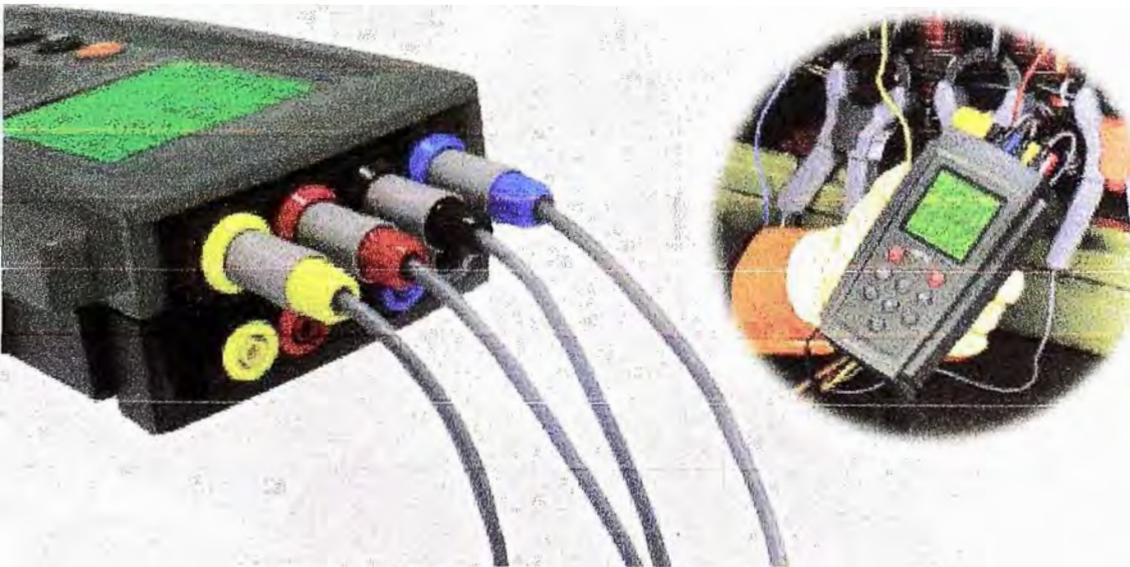
A continuación se hace algunas recomendaciones generales:

- Evitar encender los equipos eléctricos de mayor consumo simultáneamente, a fin de evitar picos de demanda que luego serán registrados y facturados
- Aunque el THDv observado en las gráficas no exceden los valores permisibles de acuerdo con la NTCSE, se recomienda realizar un estudio de armónicos dentro de las instalaciones de la tienda ya que no se descarta la existencia de armónicos.
- Realizar mantenimiento a las instalaciones eléctricas de manera programada a fin de conservar el buen estado físico operativo de las instalaciones eléctricas.
- Realizar un programa de capacitación al personal en temas de conducta de ahorro energético, a fin de disminuir el consumo de energía eléctrica para la misma demanda eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

1. Manual de Calidad de la Energía- Publicación Argentina
2. Código Nacional de Electricidad –Utilización
3. Distorsión en forma de onda – Armónicas - Normas IEEE – 519
4. Calidad de la Energía – Publicaciones Procobre
5. Calidad de la Energía – Archivos y Copias Ing. Palma Profesor Máquinas Eléctricas FIEE UNI
6. Calidad de la Energía Eléctrica - Msc. Ing. Huber Murillo Manrique. Profesor Callao - Lima - Perú FIEE - UNAC
7. Calidad de la Energía – Archivos y Copias Ing. Sandoval Profesor Medidas Eléctricas FIEE UNI
8. Análisis de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – Copias FIEE UNMSM

ANEXO A: ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS Y CALIDAD DE SERVICIO, PORTÁTIL



ANEXO B: TOMA DE DATOS CENTRO COMERCIAL SAGA PIURA



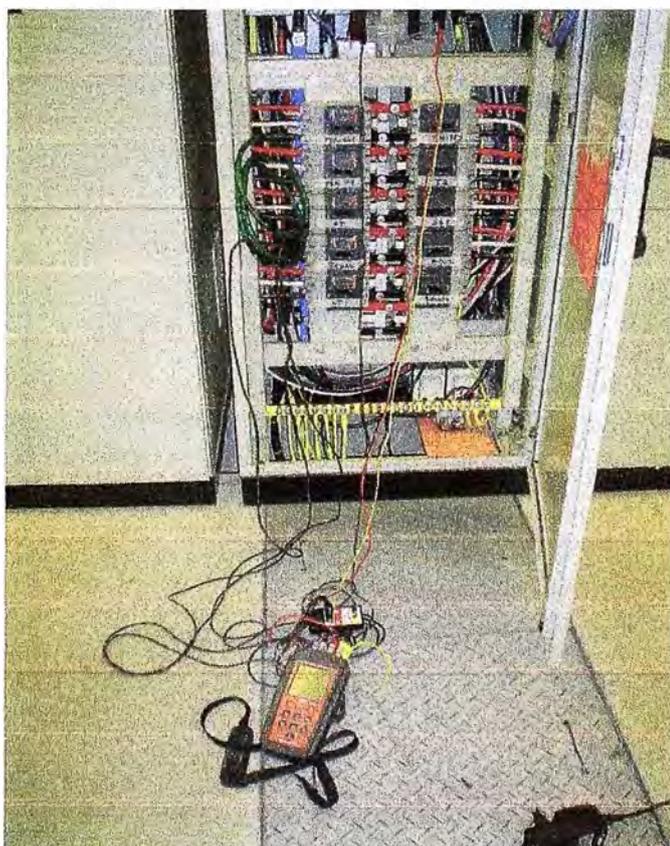
ANEXO C: LOS TRABAJOS SE REALIZAN CON LA ADECUADA PROTECCIÓN



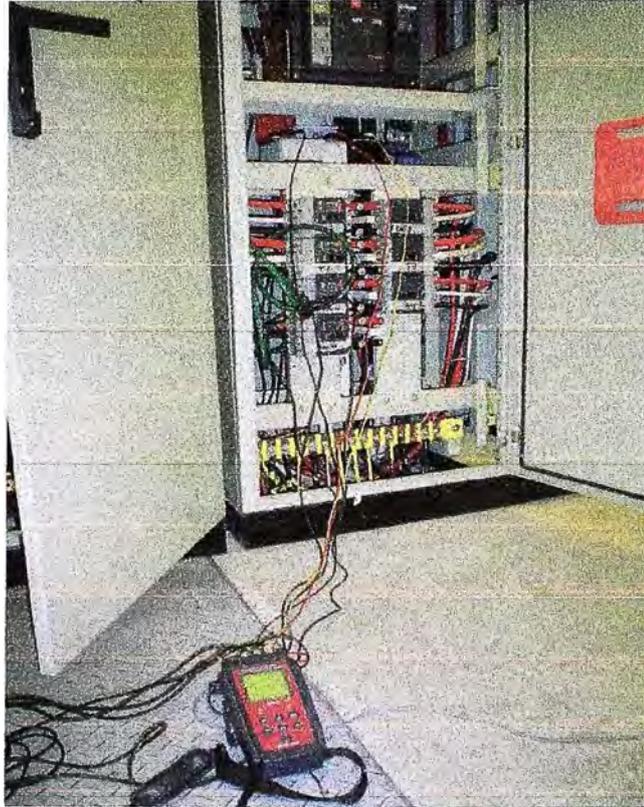
ANEXO D: TOMA DE DATOS TABLERO GENERAL NORMAL TG-N1



ANEXO E: TOMA DE DATOS TABLERO GENERAL DE EMERGENCIA TG-E1



ANEXO F: TOMA DE DATOS TABLERO GENERAL TG-FC



ANEXO G: ANALIZADOR EN PROCESO DE MEDICIÓN

