

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ANÁLISIS Y EXPERIENCIAS DEL CONTROL DE LA CALIDAD
SERVICIO ELÉCTRICO EN EL PERÚ REFERIDO A
PERTURBACIONES Y REGLAMENTADO POR LA NTCSE.**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
FREDDY ORLANDO FALCÓN SULCA**

PROMOCIÓN

1999 - II

LIMA – PERÚ

2006

**ANÁLISIS Y EXPERIENCIAS DEL CONTROL DE LA CALIDAD SERVICIO
ELÉCTRICO EN EL PERÚ REFERIDO A PERTURBACIONES Y
REGLAMENTADO POR LA NTCSE.**

**A mi esposa Rocío;
mis hijos, Sasha y Mario;
mis padres, Juan y Graciela;
y mi hermana, Fanny.**

SUMARIO

El presente informe analiza la calidad del servicio eléctrico en el Perú referido a las perturbaciones, donde la misma es el resultado de las mediciones de las empresas concesionarias que enfrentan distintos problemas, así como mediciones realizadas en diferentes puntos del país. Se desarrolla un modelo para obtener las prescripciones normativas óptimas para el cálculo de los indicadores de la calidad. Luego, considerando además las experiencias obtenidas por las concesionarias en el Perú, y comparando con las normas de diferentes países se realiza un análisis de la aplicación de la NTCSE en el sistema eléctrico Peruano en donde se propone los límites para hacer posible su efectiva aplicación.

INDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema.	4
1.3 Objetivos de la investigación.	5
1.4 Alcance.	5
CAPÍTULO II	
NOCIONES GENERALES DEL SISTEMA	6
2.1. Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos	6
2.2. Etapas de aplicación	6
2.2.1. Primera Etapa	7
2.2.2. Segunda Etapa	8
2.2.3. Tercera Etapa	8
2.3. Calidad de Producto	8
2.4. Perturbaciones	8
2.5. Flicker (parpadeo)	9
2.5.1. Flicker de breve término (PST)	10
2.5.2. Flicker de largo término (PLT)	12
2.6. Los Armónicos	13
2.7. Subarmónicas e interarmónicas	14
2.8. Factores de distorsión	17
2.8.1. Factor de distorsión armónica total de voltaje	18
2.9. Otros tipos de perturbaciones	18
2.9.1. Huecos de tensión.	18
2.9.2. Sobretensión temporaria	19
2.9.3. Sobretensión transitoria	19

CAPÍTULO III

EQUIPOS DE MEDICIÓN	20
3.1. Introducción	20
3.2. Procedimiento de aprobación en el Perú de las especificaciones técnicas de los equipos analizadores.	21
3.3. Requisitos mínimos que deben cumplir los analizadores de redes.	22
3.4. Equipo RPM	24
3.4.1. Instalación del equipo.	24
3.4.2. Alimentación del analizador.	26
3.4.3. Inicio del software PAS.	26
3.4.4. Enumerar analizadores.	26
3.4.5. Conexión del analizador.	26
3.4.6. Configuración del sistema eléctrico.	27
3.4.7. Uso del fasímetro para verificar conexiones eléctricas.	27
3.4.8. Selección del período de medición en intervalos de promedio.	28
3.4.9. Configuración remota.	28
3.4.10. Lectura de datos.	28
3.5. Equipo Topas 1000.	29
3.5.1. Perfil del Topas 1000.	29
3.5.2. Conexión del Topas.	32
3.5.3. Diagramas de conexión del Topas.	34
3.6. Equipo QWAVE.	36
3.7. Equipo UNILYZER 900F.	37
3.7.1. Funciones principales.	37
3.7.2. Las medidas.	38
3.7.3. La actuación.	38
3.7.4. La medida de tiempo real.	38
3.7.5. La evaluación.	39
3.8. Otros Equipos.	40
3.8.1. Equipo Power Ace.	40

3.8.2	Equipo Memobox.	41
3.8.3	Equipo Nanovip STD.	43
3.8.4	Equipo ENERGY TEST HT 2020.	44
3.8.5	Equipo Fluke 423.	45

CAPITULO IV

ESTUDIO DEL FLICKER EN EL PERÚ	50	
4.1	Introducción	50
4.2	Concepto de Flicker	51
4.2.1	EL PST.	55
4.2.2	EL PLT.	56
4.3	El Fenómeno del parpadeo.	56
4.4	Causas y efectos	57
4.5	Estudio del Flicker en el Perú	58
4.5.1	Mediciones de Flicker en el Sistema Interconectado cerca de la planta de Aceros Arequipa.	58
4.5.2	Programación de las mediciones.	59
4.5.3	Análisis de las mediciones	60
4.5.4	Atenuación del Flicker con los niveles de tensión.	61
4.5.5	Análisis del comportamiento del PST durante un día, una colada durante hora punta.	64
4.5.6	Influencia de Aceros Arequipa en la zona Sur medio del país.	68
4.5.7	Soluciones planteadas	69
4.5.8	Posible Compensación mensual de ELECTROPERÚ por presencia de Flicker:	70
4.5.9	Conclusiones	72

CAPITULO V

ESTUDIO DE LAS ARMONICAS EN EL PERÚ	76	
5.1	Introducción	76
5.2	Concepto de Armónicos	78
5.3	Causas que la originan	78
5.4	Efectos que produce	80
5.5	Estudio de las Armónicas en el Sistema Interconectado cerca de la planta	

de Aceros Arequipa.	82
5.5.1 Programación de las mediciones	82
5.5.2 Análisis y resultados de las mediciones de Armónicas.	84
5.5.3 Comentarios sobre la carga de Aceros Arequipa y las Armónicas.	86
5.5.4 Conclusiones.	88
5.6 Estudio de las Armónicas en la zona de Concesión EDELNOR 1999.	88
5.6.1 Campañas de medición.	88
5.6.2 Campaña A: Armónicas en subestaciones de distribución (sed).	89
5.6.3 Campaña B: Armónicas en grandes clientes.	92
5.6.4 Procesamiento realizado.	92
5.6.5 Análisis de los resultados.	96

CAPITULO VI

MEDICIONES DE PERTURBACIONES DE ACUERDO A LA NORMA TECNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS EN EL PERÚ POR PARTE DE LAS EMPRESAS CONCESIONARIAS

6.1 Introducción	99
6.2 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos en el Perú.	99
6.2.1 Metodología de las mediciones.	100
6.2.2 Tolerancias.	100
6.2.3 Compensaciones por mala calidad de perturbaciones.	102
6.3 Mediciones de perturbaciones en los puntos de suministros de las generadoras del Perú.	103
6.3.1 Punto de Medición EEP SA0008 tensión nominal 210 kV.	103
6.3.2 Punto de Medición SET Chimbote 138 kV.	111
6.4 Evolución de las Mediciones de Flicker en los puntos de suministros de las distribuidoras del Perú.	118
6.4.1 Evolución de las mediciones de Flicker en Sed.	118
6.4.2 Evolución de mediciones de Flicker en clientes de media y alta tensión.	121
6.4.3 Límites excedidos de $PST = 1$ en las mediciones de Flicker que se detectaron con mala calidad.	124
6.5 Evolución de las Mediciones de Armónicos en los puntos de suministros de las distribuidoras del Perú.	129
6.5.1 Evolución de las mediciones de Armónicos en Sed.	129

6.5.2	Evolución de las mediciones de Armónicos en clientes de media y alta tensión.	131
6.5.3	Límites excedidos de Armónicos de las mediciones donde se detectaron con mala calidad.	135
6.5.4.	Porcentaje de los límites excedido a lo establecido en la NTCSE por Armónico individual.	137
6.6	Análisis de las mediciones de perturbaciones por parte de las empresas concesionarias del Perú.	139
6.6.1	Análisis del Flicker	140
6.6.2	Análisis de Armónicos	141

CAPITULO VII

NORMAS GUÍA SOBRE LÍMITES DE PERTURBACIONES DE OTROS PAISES Y COMPARACIÓN CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DEL PERÚ

		143
7.1	Propósito de los estándares.	143
7.2	Revisión de los estándares de Flicker de algunos países.	144
7.2.1	Método Británico	144
7.2.2	Método Francés	145
7.2.3	Método Standard (UIE, IEC 868)	146
7.2.4	Método empleado por Endesa	148
7.3	Revisión de los estándares de Armónicos de algunos países.	150
7.3.1	Alemania Federal	150
7.3.2	Suecia	151
7.3.3	Estados Unidos	154
7.3.4	Finlandia	154
7.3.5	La norma IEC 555-2	155
7.3.6	La Norma Chilena	156
7.4	Comparación de los límites del Perú con otros países.	158
7.5	Observaciones.	159
	CONCLUSIONES	161
	BIBLIOGRAFIA	188

PRÓLOGO

Es propósito del presente informe, establecer y proponer los límites de los indicadores de perturbaciones en lo referente a flicker y tensiones armónicas para hacer posible su efectiva aplicación. Para la realización de estos indicadores se ha hecho un estudio del comportamiento de las tensiones armónicas y flicker.

Se realizaron mediciones con diferentes equipos en diferentes lugares y en forma simultánea, así como se analizó los reportes de las empresas concesionarias desde la aparición de la NTCSE hasta marzo 2003, referido a las perturbaciones en el Perú.

Se analizó la data obtenida y se compararon en los diferentes sectores tanto en Lima como en provincia, asimismo se compararon estos indicadores con las Normas de otros países y se obtuvo como resultado los indicadores,

Finalmente, se establece y propone los límites de perturbaciones, describiendo los criterios adoptados para establecer estos indicadores, así como sus características y algunas gráficas de operación.

CAPÍTULO I

1.1. Introducción.

Desde hace unos años, se está registrando en todos los países industrializados una creciente sensibilidad hacia la “calidad del producto electricidad” o, dicho de otra forma, hacia la “calidad de la onda de tensión”. Las alteraciones de la “calidad de la onda” tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en su utilización por determinados tipos de receptores. Son, por lo tanto, inevitables. Sin embargo, sólo en los últimos años se están convirtiendo en un motivo de preocupación. Y ello, por dos causas:

- Los procesos industriales requieren, de día en día, una mayor calidad de todos los productos utilizados y, en particular, de la electricidad, haciéndose más sensibles a las alteraciones que puedan existir.
- Por otro lado, la creciente utilización de receptores que generan perturbaciones hace que el nivel de contaminación general de las redes eléctricas esté aumentando, lo que puede así incidir en el normal funcionamiento de los demás receptores a ellas conectados y, en definitiva, extendiendo el problema.

Consciente de ello, el presente trabajo describe una metodología para la evaluación de los índices de calidad y sus posibles soluciones así como una

metodología para la incorporación de inversiones en forma óptima para el mejoramiento de la calidad en lo referente a las perturbaciones.

También se muestra como se realiza el monitoreo y control de la calidad referido a las perturbaciones, el cálculo de los indicadores y si estos son acordes a la realidad del país. La Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE), obliga a todos los clientes a realizar un programa de adecuación a la misma con el fin de evitar penalidades o multas por emisión de perturbaciones. En la actualidad no se realiza compensación alguna por parte de los emisores de perturbaciones, al estar suspendido este pago. Se profundiza en el conocimiento de este tema el diálogo entre todas las partes implicadas para buscar soluciones a los problemas que se presenten, las cuales, en cualquier caso, deberán surgir del esfuerzo conjunto de todas ellas.

Se sugiere además que, las propias empresas eléctricas tendrán que reducir en lo posible el impacto de las alteraciones existentes, asesorando a sus clientes sobre la forma más correcta de utilizar la energía eléctrica, especialmente en receptores que generan perturbaciones.

Los propios usuarios tienen que preparar y explotar sus instalaciones teniendo en cuenta las características de la red a la que se van a conectar, su entorno electromagnético y los requerimientos de inmunidad de sus propias instalaciones.

La utilización de indicadores de calidad, por parte de las empresas ayuda a la toma de decisiones sobre propuestas de topología de la red.

El problema de las perturbaciones teóricamente es posible lograr una calidad de servicio perfecta es decir sin perturbaciones, pero a un costo infinito.

Por todo esto se propone los límites de estos indicadores analizando diferentes casos, tanto en los niveles de tensión como Baja Tensión, Media Tensión, Alta tensión y Muy Alta Tensión.

1.2. Descripción del Problema.

Hasta hace menos de dos décadas la aparición de perturbaciones (flicker y armónicos) en las redes de distribución del Perú se limitaba a la zonas con demanda industrial, donde era posible encontrar cargas con comportamiento no lineal tales como hornos de arco y rectificadores. Éstas aparecían a menudo enmascaradas por el resto del consumo, constituido por motores eléctricos, hornos de resistencia y alumbrado, este último en gran parte incandescente.

El rápido desarrollo de componentes electrónicos de potencia y el aumento de su confiabilidad han permitido que se incorporen masivamente a las industrias. Éstos, junto con las lámparas de descarga gaseosa de alto rendimiento lumínico, colaboran notablemente en el mejoramiento de la eficiencia, pero como contrapartida presentan características fuertemente no lineales.

En los sectores residenciales, comercial y público es también notable el aumento de la contaminación armónica en las redes de distribución debido a la cada vez mayor difusión de equipamiento con respuesta no lineal.

Es así que la respuesta no lineal lo encontramos en las fuentes conmutadas para aparatos de televisión y equipos de computación, los balastos electrónicos sin filtros, los cargadores de baterías para centrales telefónicas, etc.

El efecto de los componentes armónicos sobre el equipamiento electrónico de regulación, medición, protección y control es frecuentemente la causa de serios problemas.

1.3. Objetivos de la Investigación

En este trabajo se estudia con detalle los efectos del flicker y de las tensiones armónicas, dado que en el Perú la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos para efectos de las Perturbaciones está suspendida el pago de compensaciones, no interesando así a las concesionarias a mejorar la calidad o en todo caso invertir para dar un mejor producto a su cliente.

Asimismo se realiza un estudio con los reportes de las mediciones de las empresas concesionarias así como se efectúa mediciones en distintas partes del Perú para ver la calidad referente a las perturbaciones, se compara con Normas de diferentes países y se llega a proponer los límites de estos indicadores con el fin de que sean aplicados en el Perú y se tome importancia nuevamente de esto.

1.4. Alcance

Las actividades de la investigación se llevaron a cabo sobre el sistema eléctrico del Perú, teniendo como datos mediciones realizadas por parte de las distribuidoras, generadoras y transmisoras, incluyendo asimismo mediciones realizadas en diferentes puntos. En esta investigación se hará un estudio sobre la situación actual de los indicadores y si estos están de acorde a la realidad del país, se darán soluciones, acciones y recomendaciones que se puedan hacer para mejorar la calidad y selectividad e incrementando así la continuidad del servicio eléctrico, con el fin de dar una mejor calidad eliminando o reduciendo las perturbaciones.

CAPÍTULO II

NOCIONES GENERALES DEL SISTEMA

2.1. Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

El objetivo de esta Norma es establecer los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos y las obligaciones de las empresas de electricidad y los Clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas.

En esta Norma se establecen los aspectos, parámetros e indicadores sobre los que se evalúa la Calidad del Servicio de la Electricidad. Se especifica la cantidad mínima de puntos y condiciones de medición. Se fijan las tolerancias y las respectivas compensaciones y/o multas por incumplimiento. Asimismo, se establecen las obligaciones de las entidades involucradas directa o indirectamente en la prestación y uso de este servicio en lo que se refiere al control de la calidad.

2.2. Etapas de Aplicación

Desde la fecha de entrada en vigencia de la Norma., se fijan estándares de los parámetros flicker y tensiones armónicas. La adecuación de las entidades involucradas en la prestación de este servicio, se lleva a cabo en tres (3) etapas consecutivas en las que las compensaciones y/o multas por incumplimiento se incrementaban gradualmente, pero a fines de la 2da etapa

involucradas en la prestación de este servicio, se lleva a cabo en tres (3) etapas consecutivas en las que las compensaciones y/o multas por incumplimiento se incrementaban gradualmente, pero a fines de la 2da etapa de adecuación es donde se suspende el pago de compensaciones con respecto a las perturbaciones.

2.2.1. Primera Etapa

Tuvo una duración de un (1) año y seis (6) meses y comenzó al entrar en vigencia la Norma. En esta etapa, las entidades involucradas en la prestación del servicio estaban obligadas a:

a) Adquirir equipos e instalar la infraestructura necesaria para la medición y registro de los parámetros de flicker y tensiones armónicas, excepto en aquellos casos que, por mandato explícito de la Norma, puedan implementarse en etapas posteriores.

b) Implementar todos los medios de registro necesarios y organizar todos los mecanismos de procesamiento de la información:

Para el cálculo de los indicadores; para la comparación con los estándares de calidad; y para la transferencia, a la Autoridad, de la información requerida por ella.

c) Efectuar una campaña piloto de medición y registro de las variables que intervienen en el cálculo de los indicadores de calidad; calcular los indicadores; y actuar sobre ellos para mejorar la calidad, de ser necesario.

Las transgresiones de las tolerancias de los indicadores de calidad no dan lugar a compensaciones y/o multas durante esta etapa.

2.2.2 Segunda Etapa.

Duró hasta fines del 2001 y comenzó inmediatamente después de finalizada la primera etapa.

El incumplimiento con los plazos y programas de adecuación planteados en la primera etapa da lugar a las sanciones establecidas en la Ley, su Reglamento y normas complementarias.

Las transgresiones de las tolerancias de los indicadores de calidad daban lugar a compensaciones y/o multas de acuerdo a procedimientos establecidos en la Norma, pero la realización del pago de las compensaciones quedó suspendida.

2.2.3 Tercera Etapa

Desde enero 2002 hasta la actualidad, en esta etapa esta suspendida el pago de compensaciones, pero se siguen realizando mediciones por parte de las empresas suministradoras.

2.3. **Calidad de Producto**

La Calidad de Producto suministrado al Cliente se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega. El control de la Calidad de Producto se lleva a cabo en períodos mensuales, denominados “Períodos de Control”.

Este informe estará dedicado exclusivamente a las perturbaciones en el Perú, referido al flicker y las tensiones armónicas.

2.4. **Perturbaciones**

El concepto de perturbaciones tiene relación con:

- Interrupciones de la continuidad del servicio.
- Alteraciones de la forma de onda de la tensión.
- Variaciones de la amplitud de la tensión en el tiempo.

Así las características ideales (amplitud, forma, frecuencia y simetría) de la onda de tensión producida por las centrales generadoras pueden verse alteradas por diversas causas. Estas desviaciones de alguno de los parámetros de la onda sinusoidal ideal se conocen como perturbaciones.

Las perturbaciones pueden ser generadas por varias causas, una de las cuales es la conexión a la red de energía eléctrica de ciertos tipos de cargas (cargas perturbadoras) de posible utilización por los clientes de la empresa.

En pasos futuros se considerará aplicar penalizaciones en aquellos casos en que los niveles de emisión de perturbaciones de un cliente se entiendan inadmisibles para la empresa o para otros clientes. Estos límites se encuentran en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, la que se encuentran suspendidas a la fecha, por lo que en el presente informe se propondrá dichos límites.

Cabe precisar que La Autoridad propicia el control de todo tipo de perturbaciones. Sin embargo acá en el Perú, sólo se controla el flícker y las tensiones armónicas.

El flícker y 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.

2.5. Flicker “Parpadeo”

Es un disturbio en la amplitud de la tensión, es de tipo conducido, no simétrico (distinto en cada fase), cuya principal consecuencia es la variación del brillo de las lámparas incandescentes, que causa molestia visual, y que permaneciendo produce cansancio.

Se le considera una sensación subjetiva visual del individuo sometido a fluctuaciones de la intensidad de la iluminación. La intensidad luminosa varía con un factor 3,4 a 3,8 veces la variación de la tensión.

El flicker se trata de caracterizar en modo objetivo, a través de un instrumento que realice el modelo de percepción visual de un observador medio, suficientemente representativo.

Para obtener este resultado se ha desarrollado experimentalmente curvas que relacionan, para determinado tipo de fluctuación de tensión (sensorial, rectangular) la amplitud para la cual el flicker generado se hace perceptible, y la frecuencia correspondiente.

También se ha debido definir la lámpara incandescente que ilumina. Además se han debido conducir investigaciones de la visión humana, como para poder especificar el modelo completo, que partiendo de las fluctuaciones de tensión simula mediante circuitos electrónicos la percepción visual del flicker.

El instrumento de medición ha sido propuesto y puesto a punto por la Unión Internacional de Electrotecnia y es objeto de la publicación 868 del IEC, que define sus características funcionales y constructivas.

La medición del flicker dada como sensación instantánea se expresa en por unidad entendiéndose igual a 1 la salida que el instrumento produce cuando su entrada es el umbral de perceptibilidad. El nivel de flicker por lo tanto es un número que indica cuanto por arriba del umbral de perceptibilidad se presenta la sensación visual correspondiente.

En general las fluctuaciones de tensión generadas por cargas causa de disturbios, tienen características variables en el tiempo y es necesario fijar un periodo de observación considerado significativo y evaluar en modo estadístico la variación de la sensación instantánea en el mismo periodo.

2.5.1 Flicker de breve término (PST).

El lapso debe ser suficientemente largo para permitir que un observador perciba el flicker, advirtiéndolo su persistencia, y para poder caracterizar el

comportamiento de aparatos generadores de disturbio con ciclo de funcionamiento prolongado.

Se ha elegido un lapso base de 10 minutos que es el mismo utilizado en la publicación IEC-555-3 y la evaluación del flicker efectuada en este lapso es llamado short-term (breve periodo-termino).

Como la intensidad de sensación provocada por el flicker no depende solo de su nivel, sino también de su persistencia, es cierto que que causa molestia e incluso causa cansancio entre las personas.

Experimentalmente se indica que el 50 % de los sujetos sometidos a experimentos advierten como perceptible el nivel de flicker correspondiente.

El “Flicker” depende de la amplitud, de la frecuencia y de la duración de las fluctuaciones de tensión en el ámbito de bajas frecuencias entre 0,5 y 30 Hz. Estas fluctuaciones de tensión no suelen tener una amplitud superior al $\pm 10\%$, por lo que muchos equipos no se ven afectados por ellas. Los principales receptores que ofrecen mayor sensibilidad a estas variaciones de tensión son las lámparas incandescentes; y debido a su uso extendido, el “Flicker” se define en términos del comportamiento de este tipo de dispositivos.

La tolerabilidad implica que los sujetos sometidos a experimentos (con niveles de flicker superiores a la perceptibilidad) indican que el disturbio es tan fastidioso de ser insoportable por aproximadamente el 80% de los interesados.

En los casos en los que el funcionamiento del aparato generador de disturbio sea persistente y regular y la fluctuación de tensión producida puede ser reconducida a un tipo rectangular a frecuencia constante, su

amplitud puede ser directamente comparada con aquella limite suministrada por la curva $P_{st} = 1$ para la frecuencia considerada.

2.5.2 Flicker de largo término (PLT)

Hay aparatos generadores de disturbio que tienen un ciclo de funcionamiento prolongado, para los cuales la evaluación de la severidad del flicker de breve término no es suficiente (por ejemplo: hornos de arco). Para estos casos es necesario definir una metodología de evaluación del flicker de largo término, y es posible adoptar una técnica de elaboración estadística de los datos perfectamente análogos a aquella utilizada para determinar el P_{st} , en modo de caracterizar el fenómeno con un solo parámetro índice de la severidad.

Aun así ha parecido mas practico subdividir el periodo de observación en muchos lapsos de 10 minutos y obtener para cada uno de ellos el P_{st} correspondientes. Obtenida así una serie de valores de P_{st} se podría construir una curva de duración (probabilidades acumuladas) y caracterizarla a través de percentiles oportunamente elegidos, pero se ha preferido utilizar un método de media que ha demostrado producir buenos resultados.

Las ventajas del método son que se mantiene el contenido de información de los P_{st} singulares, a lo largo de todo el ciclo de funcionamiento del aparato o instalación en examen, y se reducen mucho las necesidades de memoria de un eventual bloque de elaboración estadística, que puede ser incluido en el flickerimetro en modo de obtener directamente en línea la evaluación de la severidad.

Teniendo en cuenta el ciclo medio de operación de las distintas cargas que producen disturbios un tiempo de observación de 2 horas parece razonable para la evaluación del flicker de largo término.

2.6. Los Armónicos

Cuando se inicia el examen de la tensión por períodos breves, del orden del segundo y sus fracciones, la observación se hace no ya con instrumentos tradicionales, necesitamos observar ciclo por ciclo, y utilizamos el oscilógrafo, el osciloscopio.

Luego se ve la onda de tensión en detalle, y aparecen irregularidades, el análisis de Fourier nos muestra la presencia de armónicas, la onda de tensión esta formada por una fundamental y armónicas.

Mientras las armónicas son despreciables la onda es sinusoidal, pero esta afirmación muchas veces no es valida, examinemos la corriente absorbida por un rectificador, una lámpara de descarga, el laminador antes citado, el horno eléctrico de arco, los dispositivos que ponemos para compensar las variaciones de tensión, la tensión generada por los generadores, la corriente absorbida por motores etc.

En algunos casos el circuito, la instalación eléctrica, por sus propias características de diseño exalta armónicas, la circulación de corrientes armónicas produce caídas de tensión armónicas que a su vez causan mas corriente armónica, y además pueden presentarse resonancias entre circuitos que tienen frecuencias naturales armónicas.

¿Cuanto es deforme una onda que incluye armónicas? Se observa por ejemplo una armónica de cierto orden y magnitud superpuesta a la fundamental, y se ve un aumento del orden, en general puede afirmarse que las armónicas de mayor orden llegan a tener efectos mas lejos, pero las de menor orden producen mayores inconvenientes mas cerca, así es que una armónica 5 se juzga mas tolerable que una 11.

Al estudiar los rectificadores observamos que "generan" armónicas 5, 7, 11, 13, ... laterales de 6, 12, ... esto es teórico, y valido.

Los transformadores que se tienen en las instalaciones, generalmente conectados DY son un camino cerrado para las armónicas 3, 9, ... y entonces deberían eliminarlas, impedir las y también esto es teórico y valido.

Observemos el funcionamiento de una instalación real, captemos la onda de tensión, y hagamos el análisis armónico, observamos la presencia de armónicas 2, 3, 4, 5, algunas netamente preponderantes, otras pequeñas pero no despreciables, pero como es que la tercera aparece, evidentemente en este caso no es homopolar, si pensamos en un generador de armónica conectado fase fase, la armónica inyectada (como una corriente de cortocircuito) no será filtrada (cortocircuitada) por el transformador Dy y se propaga por el camino de menor impedancia que encuentra hacia la fuente, lógicamente como estamos observando la tensión durante un tiempo relativamente breve es probable que además tengamos fenómenos transitorios (que no son permanentes) pero que para nuestra limitada observación nos parecen permanentes, esto explica el caos armónico que comentamos.

Cuando la forma de la onda que se ha registrado es muy irregular lo que puede hacerse es tomar un solo ciclo y sobre el hacer el análisis de Fourier, suponemos que el ciclo se repite indefinidamente, cada ciclo nos dará una composición armónica con valores de amplitud y fase de cada armónica mas o menos comparables.

2.7. Subarmónicas e Interarmónicas

Otra forma de análisis es tomar todo el tren de ondas y hacer el análisis de Fourier, la fundamental ahora es una "subarmonica", la habíamos ya observado en el fenómeno llamado flicker, además aparecen interarmónicas, armónicas no enteras, la que daremos una pequeña explicación.

Se tiene dos ondas (40 ms a 50 Hz) y se realiza el análisis de Fourier, obtenemos la fundamental (de 25 Hz), y sus armónicas (1, 2, 3, 4, 5...) la armónica 2 de este análisis es la fundamental de 50 Hz, la 4 es la segunda armónica de 50 Hz... la 3 es la armónica 1.5 de 50 Hz y esta es la interarmónica, la 5 nos da la 2.5, la 1 nos da la subarmónica 0.5 de 50 Hz.

Si tomamos un tren de ondas de 50 Hz, por ejemplo de duración 1 segundo, y hacemos este trabajo obtendremos armónicas que referidas a la frecuencia de 50 Hz cubrirán desde la subarmónica 0.01 hasta la que nos interese de 0.01 en 0.01 y otorgaran sentido a hablar de la armónica 3.14, o 1.41... Aunque todavía esto nos parezca irracional y absurdo.

La medición de armónicas la podemos realizar con instrumentos analógicos, que nos permiten para cada frecuencia evaluar la magnitud de la armónica presente, ya de corriente como de tensión.

Se efectúa un barrido del espectro de frecuencias con este instrumento y se grafica la amplitud de la armónica en función de la frecuencia, para luego observar un gráfico del tipo montaña la que tiene picos en cada armónica importante.

Aunque no es de importancia digamos que generalmente estos gráficos se hacen en decibeles (en escala logarítmica), que es una forma de lograr ver suficientemente ampliados los valores pequeños, una reducción de 10 a 1 tiene la misma amplitud si se trata de un valor de 50 o de 0.05.

Este tipo de perturbación afecta a la forma de la onda del sistema trifásico de tensiones. Los causantes fundamentales de esta alteración de la onda son los receptores con una característica “intensidad/tensión” no lineal.

La representación de la corriente, la tensión, también puede hacerse mediante un gráfico de impedancia, este puede hacerse por cálculo sobre cualquier red

pasiva, haciendo hipótesis del comportamiento de algunas impedancias (que forman parte de los modelos de los componentes de la red) con la variación de frecuencia.

Se pueden observar picos de resonancia, se puede observar como se deforma el gráfico con la variación de los parámetros de la red, por ejemplo el agregado de bancos de capacitores, y hacer previsiones sobre el comportamiento armónico de las corrientes y tensiones, que están relacionadas por el gráfico de impedancia.

Los sistemas de control que en ciertas circunstancias presentan realimentación positiva pueden ser responsables de fenómenos interarmónicos de magnitud, fenómenos parecidos se presentan cuando no hay linealidad que dan origen a deformaciones variables en el tiempo, como la ferresonancia.

Los fenómenos armónicos que se ha examinado son tolerables mientras mantienen magnitudes controladas, pero en ciertos casos, su exaltación produce por ejemplo reiterados pasajes por cero de la corriente o tensión, exagerada magnitud del pico en relación al valor eficaz de la magnitud examinada, etc.

La relación entre la amplitud de las distintas armónicas, y la deformación global de la magnitud observada depende además de la magnitud de cada armónica de la fase relativa entre ellas.

La deformación de las magnitudes debidas a las armónicas se controlan con filtros, que deben proyectarse haciendo consideraciones de potencia y conservación de la energía, totalmente distintas a las que se plantean cuando el problema es de tratamiento de información o implica potencias reducidas.

Los filtros de armónicas modifican el diagrama de impedancia de la red agregándole ceros y picos que nos deben efectivamente dar el efecto deseado.

La simultaneidad de los máximos de una armónica con los de otra (correlación de valores) no necesariamente se presenta, muchas veces se observa que una armónica máxima no es simultánea con el máximo de la fundamental, o con otra armónica, lograr estas conclusiones requiere muchas mediciones y un gran tratamiento de datos.

Surge natural plantearse como deben hacerse mediciones con las cuales se deberán hacer tantos cálculos, se necesitan obtener los valores numéricos que representan la medición en la forma mas directa posible, entramos en el ámbito de los adquisidores de datos y de las señales muestreadas.

La onda a examinar se adquiere con una frecuencia de muestreo elevadísima, y la matemática aplicada hace el resto, con los resultados se puede hacer estadística y dar significados de frecuencia y probabilidad de ocurrencia a los fenómenos examinados.

La capacidad de medición es enorme, la dificultad principal es como sintetizar tanta información, como lograr ver en semejante bosque la única magnitud que en un momento del estudio interesa.

2.8. Factores de Distorsión

El factor de distorsión es una medida del alejamiento de la forma de onda de una función periódica cualquiera con respecto a otra con forma de onda senoidal pura. Este factor de distorsión, normalmente se expresa en porcentaje. Hay dos tipos de factores de distorsión: factor de distorsión de tensión (FDV o THDV) y factor de distorsión de corriente (FDI o THDI).

2.8.1 Factor de distorsión armónica total de voltaje.

El factor de distorsión total del voltaje THD se define como la raíz cuadrada de la sumatoria de los valores eficaces de las componentes armónicas al cuadrado, desde $h = 2 \dots 40$, dividida entre el valor eficaz de la componente fundamental.

El THD es igual al valor eficaz de la forma de onda de voltaje, excluyendo de la original la componente fundamental y la componente de corriente continua, dentro del valor eficaz de la componente fundamental.

Si una resistencia se alimenta con una forma de onda de voltaje distorsionada, la potencia debida a las armónicas dividida entre la potencia debida a la fundamental es igual al THD al cuadrado. También, el valor eficaz de la forma de onda de voltaje es igual al producto del valor eficaz de la componente fundamental y la raíz cuadrada de la suma de 1 más THD al cuadrado.

$$\text{THD} = \left(\sqrt{\sum_{i=2 \dots 40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

2.9. Otros Tipos de Perturbaciones

2.9.1 Huecos de tensión.

Un hueco de tensión es una súbita reducción de la tensión de alimentación a un valor entre un 90% y un 1% de la tensión nominal U_n , seguida de una recuperación luego de un período corto de tiempo. Convencionalmente la duración de un hueco de tensión es entre 10 ms y 1 minuto. La profundidad de un hueco de tensión se define como la diferencia entre el valor RMS mínimo durante el hueco y la tensión nominal. Cambios de tensión que no

reducen la tensión de alimentación a menos del 90 % de la tensión nominal (U_n) no se consideran como huecos.

2.9.2 Sobretensión temporaria.

Una sobretensión temporaria es en algún punto relativamente larga duración, a la frecuencia es de 50 Hz.

Sobretensiones temporarias usualmente se originan por cierre o apertura de interruptores, o fallas (por ejemplo, reducción súbita de carga, fallas asimétricas o conexión de carga no lineal)

2.9.3 Sobretensión transitoria.

Es una sobretensión de corta duración, oscilatoria o no, usualmente altamente amortiguada, y con una duración de algunos milisegundos.

Las sobretensiones transitorias son causadas usualmente por rayos, conmutación u operación de fusibles. El tiempo de establecimiento de una sobretensión transitoria puede variar desde menos de un microsegundo hasta algunos milisegundos.

CAPÍTULO III

EQUIPOS DE MEDICIÓN

3.1. Introducción

Los equipos de medición son los llamados analizadores de redes, y hay infinidad de ellos pero pasaremos hablar solo de los equipos usados en Perú, desde la aparición en 1999 de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos hasta la actualidad teniendo presente que desde la suspensión del pago de compensaciones por perturbaciones (flicker y tensiones armónicas) las empresas suministradoras no han prestado mayor interés en la compra de más equipos, es así que la autoridad OSINERG a la fecha no ha aprobado equipo alguno referido a las perturbaciones.

También hacemos hincapié que los concesionarios usaban para las mediciones de perturbaciones equipos que no eran los adecuados, es decir no cumplían los requisitos mínimos que exigían la NTCSE, tal es el caso de los equipos MEMOBOX 300 y el ACE QUATRO.

Los equipos analizadores de redes usados en el Perú son:

- **TOPAS 1000** (LUZ DEL SUR, ENOSA, ELECTRO NORTE, ELECTROCENTRO, HIDRANDINA, ELECTRO SUR MEDIO, ELECTRO ORIENTE, ELECTRO UCAYALI, EDECAÑETE, ELECTRO PUNO, ELECTRO SUR ESTE)

- **RPM** (EDELNOR, SEAL, ELECTRO UCAYALI)
- **UNILYZER 900F** (ELECTRO SUR ESTE, EDECAÑETE, LUZ DEL SUR, ELECTRO SUR, ELECTRO ORIENTE, ELECTRO PUNO)
- **QWAVE** (SEAL)

3.2. Procedimiento de Aprobación en el Perú de las Especificaciones Técnicas de los Equipos Analizadores.

- El proveedor presentará al OSINERG una solicitud de aprobación de especificaciones técnicas declarando en la misma el cumplimiento de cada uno de los requisitos mínimos establecidos en el numeral 4.1.4 de la Base Metodológica, acompañando copia del respectivo manual, de los certificados de ensayos tipo y el software de trabajo inherente al equipo.
- El OSINERG podrá requerir al proveedor que ponga a disposición un equipo, cuyas especificaciones técnicas estén en proceso de aprobación, para someterlo a una prueba de funcionamiento de por lo menos dos períodos de medición.
- En caso el equipo de medición y registro califique, el OSINERG procederá de ser el caso a la devolución del equipo sometido a prueba y notificará al proveedor para que éste ceda a título gratuito el software de trabajo inherente al equipo, entregando la respectiva licencia de uso y manual de usuario, acompañados de una carta mediante la cual el proveedor se comprometa a mantenerlos actualizados.
- En caso el proveedor tenga autorización de la casa matrix para efectuar las recalibración de sus equipos, deben entregar copia de tal autorización al OSINERG, además de permitir una visita a sus instalaciones con la finalidad de verificar la infraestructura, personal, maquinaria y/o herramientas con que cuenta para esta recalibración.

- Cumplidos los pasos anteriores, la Gerencia de Fiscalización Eléctrica del OSINERG procederá a emitir la respectiva resolución de aprobación de especificaciones técnicas y de ser el caso de la aprobación temporal para que la empresa efectúe el servicio de recalibración.
- El Suministrador antes de adquirir algún modelo de registrador, debe asegurarse que el proveedor del equipo cuente con la resolución de aprobación de especificaciones técnicas por parte del OSINERG, debiendo exigir copia de la misma.

3.3. Requisitos Mínimos que deben Cumplir los Equipos Analizadores de Redes.

- Los equipos analizadores deberán ser de fácil traslado, y permitir el almacenamiento de la información en memoria no volátil por un lapso no menor a dos períodos de medición, sin descargas intermedias.
- Los equipos registradores y su instalación deberán adecuarse a las normas referidas a la seguridad eléctrica, tanto los que sean ubicados dentro de la propiedad de los usuarios, como a la intemperie.
- Asimismo, deberán contar con un sistema que asegure la inviolabilidad de los datos de programación y/o archivos de registro de la medición, y deberán estar identificados en forma indeleble con sus respectivos números de serie.
- La medición debe ser permanente y con seguimiento de la tensión a través de una constante de tiempo de muestreo apropiada para el registro de cada parámetro.

- Los registradores deberán disponer de Interfase óptica, serial o paralela para computadora, que permita mediante software de trabajo inherente al equipo, obtener el/los archivo/s de la medición en formato del propio equipo y posterior exportación a formato ASCII.
- Los valores representativos de los respectivos intervalos de medición podrán ser obtenidos por procesamiento mediante software externo.
- Cuando sea necesario, el empleo de transformadores o transductores de tensión o de corriente, estos deberán tener características acordes con las del registrador, a fin que la precisión de la medición de energía/potencia del equipo incluyendo transformadores y/o pinzas, sea por lo menos correspondiente a la Clase de Precisión del sistema de medición empleado para la facturación comercial.
- Los diferentes modelos de equipos de medición y registro, deberán contar con la certificación de los siguientes ensayos tipo realizados por reconocidos laboratorios de prestigio y según normas IEC:
 - Ensayos de aislamiento.
 - Ensayos de Compatibilidad electromagnética
 - Ensayos climáticos.
 - Ensayos mecánicos.
 - Ensayo de Clase de Precisión.
- Los ensayos climáticos tipo, deben comprobar que el equipo de medición y registro puede funcionar bajo las siguientes condiciones ambientales:
 - Rango de temperatura de operación: 0°C a +55°C, para la costa y selva.
 - -20°C a + 45°C, para la sierra.
 - Rango de humedad de operación: 45 a 98%

- Rango de presiones barométricas: 0.76 a 1.08 Bar, para la costa y selva.
- 0.45 a 0.76 Bar, para la sierra.
- Previo al uso de los equipos registradores, se realizarán sobre cada uno de ellos los ensayos de contraste y funcionamiento, los cuales deberán repetirse periódicamente según indicaciones del fabricante, o a solicitud del OSINERG.
- Debe notificarse al OSINERG fehacientemente con 5 (cinco) días de anticipación: el lugar, fecha y hora de realización de estos ensayos a fin que su representante asista a los mismos. En caso de no asistencia del representante del OSINERG, los ensayos se realizarán igualmente levantando el acta correspondiente.

3.4. Equipo RPM

3.4.1. Instalación del equipo:

En el punto de medición conectando las señales de medición de acuerdo al manual de usuario.

- **Sistema trifásico Delta:** Conectar los 3 conductores a las entradas de tensión “A”, “B”, “C” y respetar la asignación y sentido de las pinzas amperimétricas.
- **Sistema trifásico Estrella:** conectar los 4 conductores a las entradas de tensión “A”, “B”, “C” y “N” y respetar la asignación y sentido de las pinzas amperimétricas, adicionalmente se puede analizar la tensión del neutro. En este caso conectar un cable de medición de la entrada de tensión “G” a la tierra de sistema. En caso de no conectar la entrada “G”, no se debe tomar en cuenta los datos registrados en el

- Sistema trifásico Estrella:** conectar los 4 conductores a las entradas de tensión “L1”, “L2”, “L3” y “N” y respetar la asignación y sentido de las pinzas amperimétricas, adicionalmente se puede analizar la tensión del neutro. En este caso conectar un cable de medición de la entrada de tensión “G” a la tierra de sistema. En caso de no conectar la entrada “G”, no se debe tomar en cuenta los datos registrados en el canal “N” (para registrar datos ceros en el neutro también puede cortocircuitar las entradas “N” y “G”). Ver Fig. 3.2

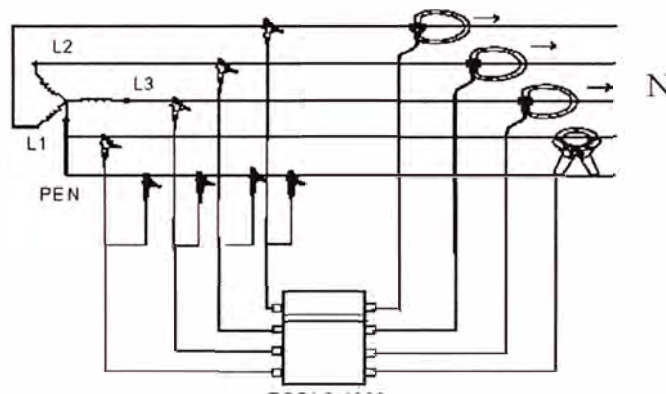


Fig 3.2 Conexión de los equipos sistema trifásico estrella.

- Sistema monofásico con Neutro:**

Conectar el conductor vivo a la entrada “A” y el neutro a la entrada “N” y respetar la asignación y sentido de la pinza amperimétrica. Adicionalmente se puede analizar la tensión del neutro. En este caso conectar un cable de medición de la entrada de tensión “G” a la tierra de sistema. En caso de no conectar la entrada “G”, no se debe tomar en cuenta los datos registrados en el canal “N” (para registrar datos ceros en el neutro también puede cortocircuitar las entradas “N” y “G”)

- **Sistema monofásico con 2 fases:**

Conectar los conductores a las entradas "A" y el neutro a la entrada "N" y respetar la asignación y sentido de la pinza amperimétrica. Adicionalmente se debe conectar la entrada "G" al conductor conectado a la entrada "N". En caso contrario los datos en el canal "N" serán registrados con valores erróneos.

3.4.2. Alimentación del analizador:

Con 85...265 Vac y conectar obligatoriamente el conductor protector de tierra a la tierra del sistema (chasis en S.E). si el punto de medición no cuenta con tomacorrientes con tierra debe usar el cable de extensión con 3 terminales bananas apilables suministrado por separado.

También se puede usar una alimentación DC (10...15 Vdc), mediante un cable especial, a los 30 segundos deben encender las luces de control de entrada como señal de control de operación correcta.

3.4.3. Inicio del Software PAS.

Conectar Cable de comunicación ETHERNET del analizador a la PC-card (Ethernet RJ-45) de la Notebook (Usar los dos cables con protocolo NETBUI).

3.4.4. Enumerar analizadores.

En el menú Registrador / enumerar (browse), seleccionar el equipo deseado.

3.4.5. Conexión del analizador.

En el menú Registrador / conectar (link), seleccionar el equipo deseado.

3.4.6. Configuración del sistema eléctrico.

En la ventana Sistema de información y el menú Edit se debe seleccionar el sistema y tensión nominal para:

- Sistemas trifásicos delta.
- Sistemas trifásicos estrella.
- Sistemas monofásicos F-N.
- Sistemas monofásicos F-F

Cerrar ventana con aceptación.

3.4.7. Uso del fasímetro para verificar conexiones eléctricas.

En menú funciones / osciloscopio (scope) seleccionar fases (phasors).

- **Fases de tensión:** deben formar un triangulo preciso $A-B=0$; $B-C=240$; $C-A=120$ para giro derecho.
- **Fases de corriente:** deben formar un triangulo aproximado (de acuerdo al balanceo) por ejemplo para cargas inductivas $A=0\dots300$; $B=240\dots180$; $C=120\dots60$.
- **Las impedancias:** por fase muestran la correcta asignación y polaridad de las pinzas amperimétricas. Para cargas inductivas deben estar ubicados en el 1er cuadrante superior derecha y para cargas balanceadas debe estar alineados en la misma dirección. En el caso de alguna anomalía se deben cambiar las conexiones eléctricas hasta obtener los resultados correctos en el fasímetro. El software PAS permite correcciones virtuales de polaridades equivocadas de pinzas amperimétricas, sentido de giro y/o asignación de fases inclusive después de la medición.

3.4.8. Selección del periodo de medición en intervalos de promedio.

En el menú registrador / monitoreo. Para intervalos de 10 minutos seleccionar un periodo de 2 semanas (2 weeks) o para intervalos de 5 minutos seleccionar un período de 1 semana (1 week).

En el caso de usar un periodo de una semana es conveniente activar el casillero (roll over). En este caso se acoplara en forma automática otra semana para medición en reserva en caso e interrupciones. Para esta opción debe instalar la opción 1662 multiintervalos.

Preferentemente debe usar un inicio de medición (start) con intervalos redondeados a 10 minutos. Para tal fin usar el modo Star con la opción de ingresar la hora de inicio: digitar por ejemplo 15:20:00, apretar el botón Start y cerrar la ventana.

3.4.9. Configuración remota:

- Entorno de red Ethernet local (LAN) en el mismo nodo (Hub), conectar analizador con un solo cable de comunicación Ethernet y en PC usar protocolo NETBUI.
- Entorno de red Ethernet local (LAN) a través de varios nodos (Hubs), conectar analizador con un solo cable de comunicación Ethernet y en PC usar el protocolo TCP/IP.

3.4.10. Lectura de datos:

Se puede efectuar en todo momento sin afectar la medición. Para esto conectar (link) al analizador e ingresar al menú registrador / monitoreo o

(download) y apretar el botón download. En el caso de estar activado la opción 1662 multiintervalos debe efectuar dos o más bajadas de datos. La transmisión de los datos se efectúa con una velocidad nominal de 10 / 100 MBs según las características de su PC-card en la Notebook.

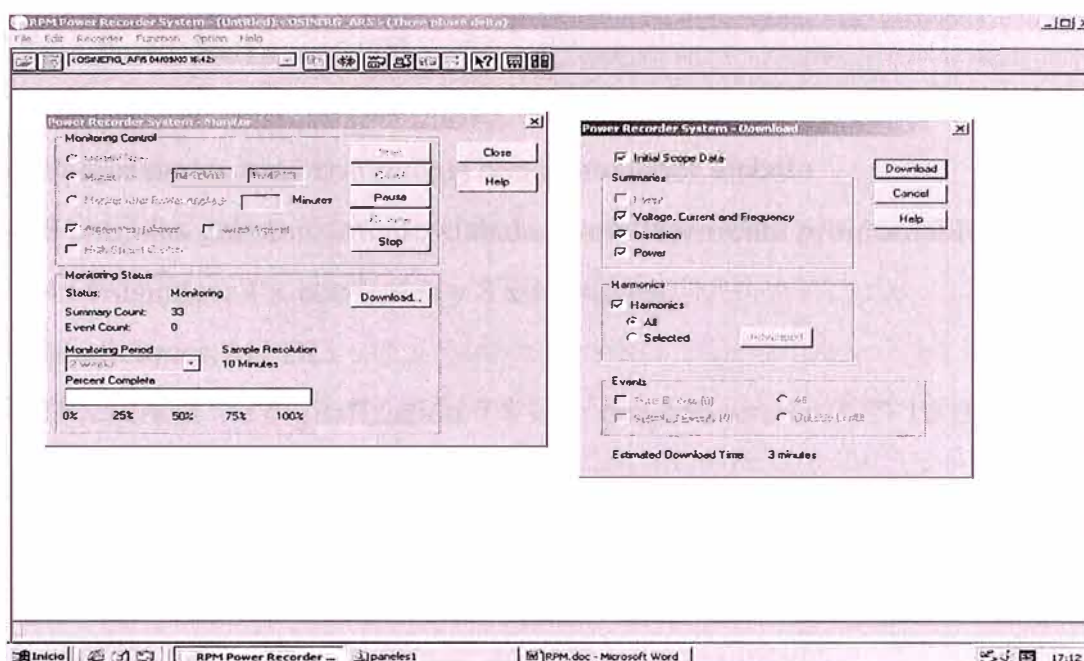


Figura 3.3. Configuración del Software para el equipo RPM.

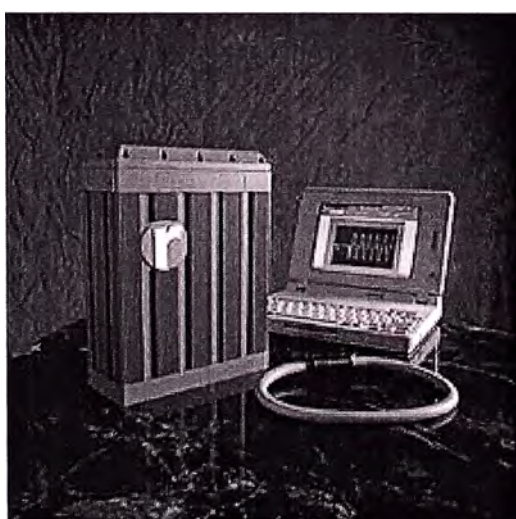


Figura 3.4. Equipo RPM con pinza.

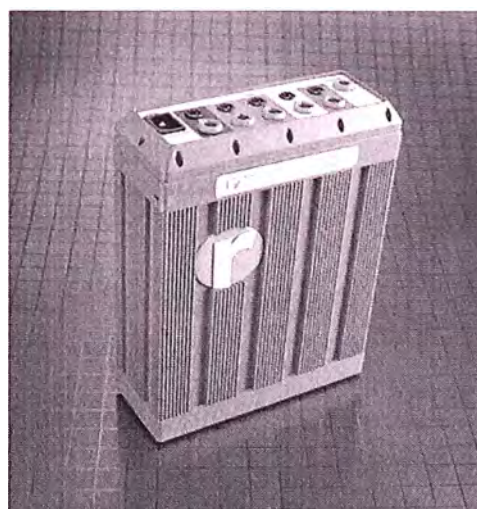


Figura 3.5. Equipo RPM 1656

3.5. Equipo Topas 1000

El equipo Topas 1000 analiza las perturbaciones de las redes eléctricas. Este concepto de la “medición integral” permite registrar todos los parámetros de calidad con un solo sistema a la vez.

3.5.1. Perfil del Topas 1000

- Dimensiones muy compactas con contenedor aislado.
- 8 entradas galvanicamente aislados, son libremente programables:
- 4x tensiones; 4 x corrientes y 8 x tensiones.
- Mediciones AC DC.
- Frecuencia de digitalización 7.8 kHz con conversión A/D 16 Bit.10 MHz para impulsos de alta velocidad.
- Precisión < 0,2% con rango de frecuencia 0...3 kHz.
- Registros continuos por semanas / meses; modo ON – LINE.
- Umbrales ajustables automáticamente o manualmente.
- Sistema operativo a partir de WINDOWS 95 / NT.
- Modem GSM analógico / Modem ISDN digital.
- Clase protección IP 65 (a prueba de agua y polvo)

Registros en forma simultánea y en forma continúa.

- 4 tensiones y 4 corrientes y calcula de ellos ciclo por ciclo:

Armónicas 2...50. THD, flicker Pst y Plt, Voltajes, Corrientes, Potencias, Energía, Factor de Potencia, con intervalos de 10 minutos en una sola medición.

Voltajes, corrientes, potencias, energía, factor de potencia con intervalos de 15 minutos en forma simultánea.

Direccionalidad de potencia armónica con intervalos de 2 segundos hasta 5 horas.

- Deformaciones de onda (osciloscopio).
- Impulsos de transitorios con hasta 10 MHz (100 ns)
- Telecomandos e interarmónicos.

Funciones umbrales específicos.

Pueden ser ajustados según requerimiento en forma automática / adaptiva o en forma manual para el experto experimentado. Con la forma manual se puede programar además de los siguientes criterios:

Deformaciones de onda, valores máximo / mínimo, variación de forma de onda, saltos de fase.

Memoria no volátil con capacidad de 2 GB.

- En el disco duro interno guarda registros de hasta 2 GB.
- Gracias a la administración adaptiva de la memoria resultan registros sin interrupciones por semanas o meses.
- La lectura específica de los datos registrados es posible en cualquier momento.
- La administración del espacio de memoria es controlable por software.

Sistema que se basa en PC.

- El Topas 1000 funciona con cualquier PC comercial apto para WINDOWS 95 o NT. Comunicación RS-232.
- Recolección de datos mediante Modem.

Ventajas.

Resuelve mediciones de la calidad de suministro en redes de Baja – Media y alta tensión con mayor rapidez y seguridad con un solo equipo. Asimismo resuelve estudios de:

- Localiza fuentes de perturbaciones.
- Determinación de capacidades de carga o pérdidas en transformadores.
- Captura de impulsos transitorias en forma exacta.
- Monitoreo de la calidad de suministro eléctrico.
- Localización de realimentación de perturbaciones por el sistema.
- Localización de máxima demanda costosa.
- Monitoreo de los niveles de telemando en la red.

3.5.2. Conexión del Topas 1000

El TOPAS 1000 viene equipado con un cable de alimentación para su conexión en una base de enchufe con tensión alterna de 100...240 V, 45...65 Hz.

Conectar dicho cable primero en la entrada de la parte superior del analizador de la calidad del suministro y después en la fuente de la red.

Enchufar los cables de las tenazas amperimétricas y/o los cables de toma de tensión en su respectiva toma de los canales de entrada, que se hallan a izquierda y derecha del aparato. Tales sensores deben ser conectados de forma, que la etiqueta en el terminal del cable apunte hacia el lado delantero. Seguidamente hay que asegurar dicha conexión girando el terminal de

bayoneta en sentido contrario a las agujas del reloj hasta que enclave. Como máximo hay que enchufar 8 sensores.

En cuanto a la comunicación con un PC, se dispone de un interface Ethernet y de un RS 232 y es el Ethernet el que se emplea de forma estandarizada para comunicarse con el TOPAS 1000. Ambos se encuentran a la izquierda en la parte superior del aparato protegidos por una tapa, que habrá de retirarse para poder enchufar la clavija. El “interfaz serial” deberá emplearse solamente, cuando no sea posible utilizar el Ethernet. Antes de conectar el “interfaz serial” habrá que abrir la tapa en la parte superior, pulsando en el punto marcado con “PUSH”, para después enchufar la clavija del cable.

Una vez conectado el TOPAS 1000 con el PC, se podrá establecer la comunicación entre ambos.

El TOPAS 1000 ya se halla listo para su puesta en servicio y para ello hay que bascular la palanca del interruptor de “O” a “I”.

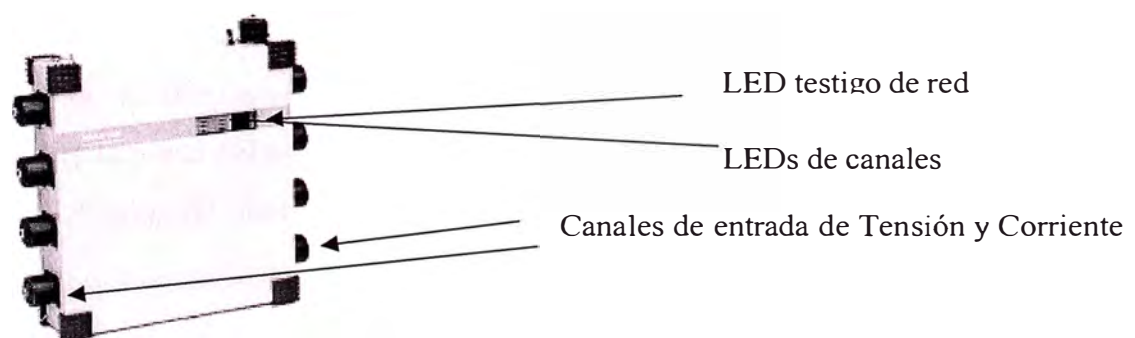


Figura 3.6 Equipo LEM TOPAS 1000

El TOPAS va equipado con un LED de red que nos indica el estado de la alimentación. Los 8 LEDs de canales informan respecto al estado de los canales de entrada.

LED de red.

Luz permanente significa alimentación limpia desde la red.

Parpadeo significa, que la alimentación procede del acumulador

LEDs de canales

Luz corta significa que “hay avería”, es decir que “no hay señal”; corto apagón significa “señal demasiado alta”; luz permanente indica, que se han conectado los sensores correctos y que el canal está en orden; parpadeo rápido señala que, los “sensores están mal conectados” o que “no están conectados”.

3.5.3. Diagramas de conexión del Topas 1000

En el conexionado del Analizador de redes, solo se deben utilizar los cables de medida contenidos en el suministro.

Conectar los sensores según las flechas del sentido de la corriente, marcadas en el diagrama.

Utilizar el canal “4” como canal de mando para el disparo (trigger) externo.

En la “medición en triángulo a tres hilos” los transitorios se capturan entre “r” y la masa del aparato.

“r” = cable de medida rojo de 4 mm de los sensores de tensión.

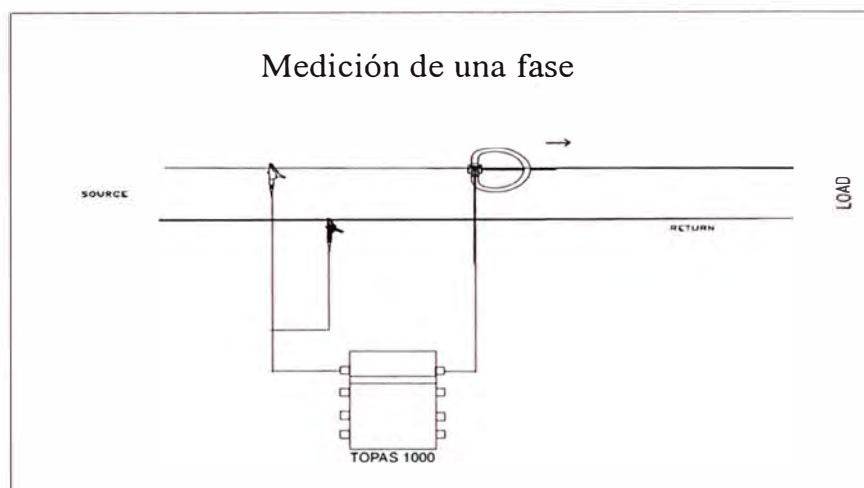


Figura 3.7. Medición monofásica

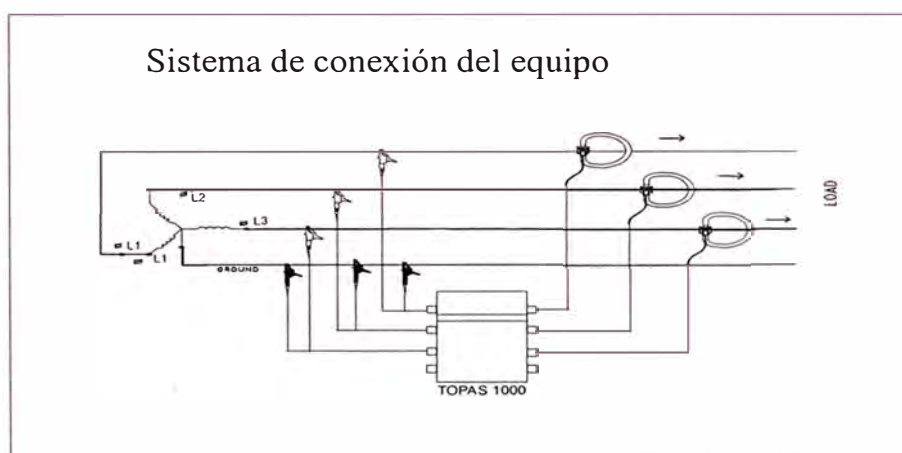


Figura 3.8. Medición a 3 vatímetros y 4 hilos

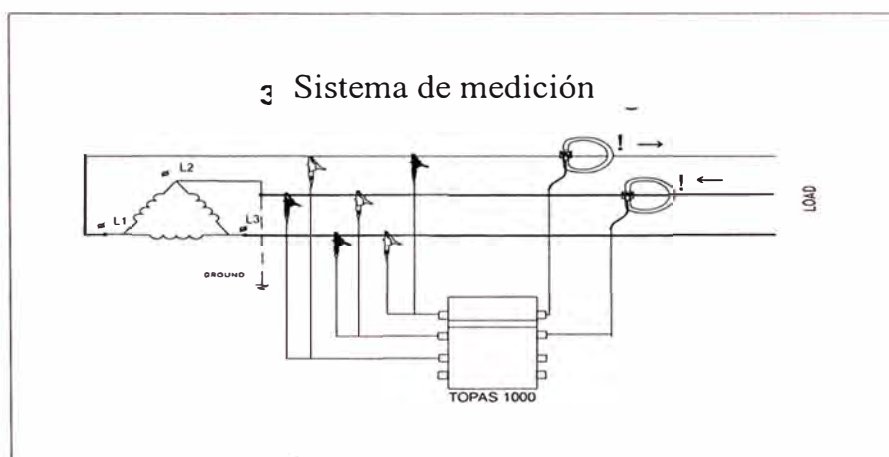


Figura 3.9. Medición trifásica a 3 hilos

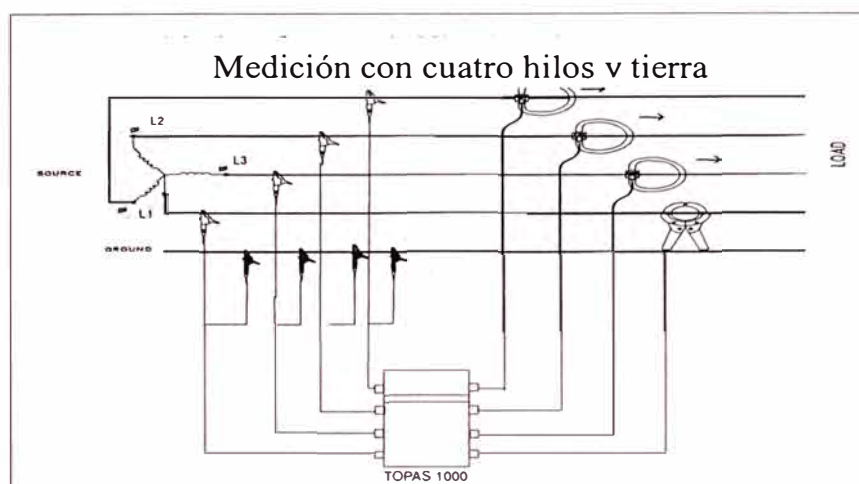


Figura 3.10. Medición trifásica 4 hilos, sobre tierra



Figura 3.11. Equipo LEM TOPAS 1000 Con Pinza Amperimétrica

3.6. Equipo QWAVE

El analizador QWave cumple con la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y registra múltiples intervalos de todos los parámetros y eventos desde 2,5 mseg simultáneamente a su Memoria Flash SRAM. Precisión básica $<0,1\%$ valor nominal.

El Modicom's Modbus Protocol permite trabajar también en tiempo real con SCADA, MS-DDE para EXCEL, PLC (Simatic con puerta RS-485). En esta

forma se puede controlar y activar procesos y/o alarmas según cada caso.
Aplicaciones: Control de Máx. Demanda y Alarmas

La telemetría es el lado fuerte: por Software se programa la forma de acceso y un automatismo puede "recoger" los datos durante la noche vía modem, RS-232, RS-485 o CANBUS.

Opcionalmente puede ser equipado con reloj sincronizado por GPS y antena satelital. Registra frecuencia con intervalos 1 seg., 1 Min. Promedio cuadrado y 15 Min. En simultáneo con la Tensión y Potencia.

- Para el registro continuo cuenta con memoria interna no volátil de 32 MB.
- Puede transmitir adicionalmente los valores instantáneos al mismo tiempo a una PC en tiempo real.

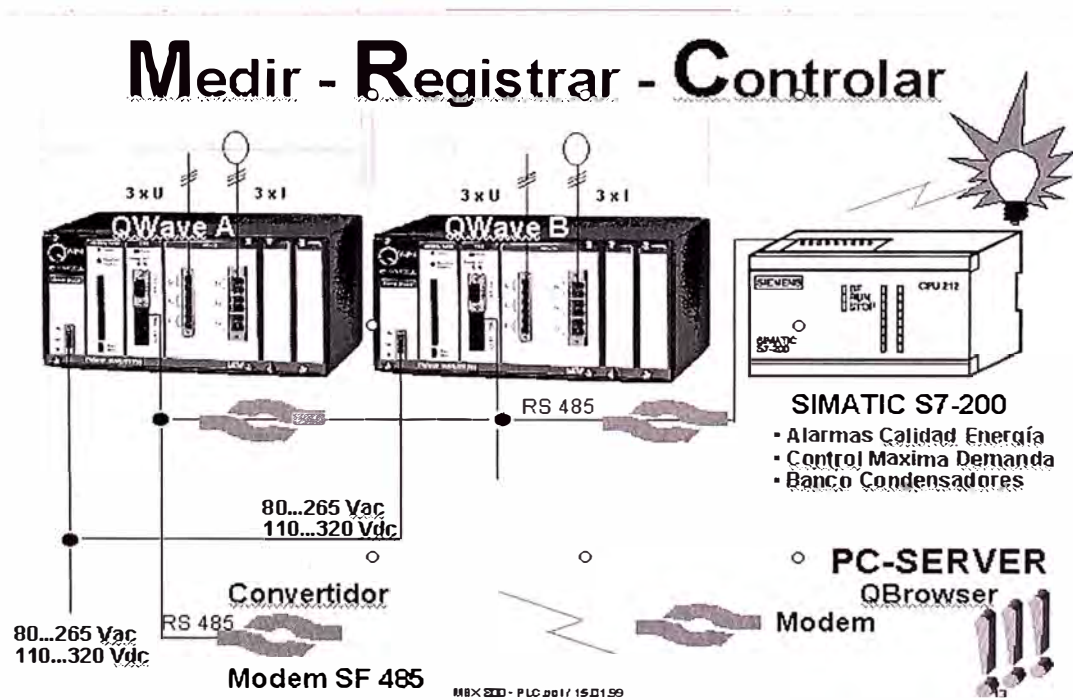


Figura 3.12. Funcionamiento del equipo QWAVE

3.7. Equipo UNILYZER 900F

La optimización de la red y los aumentos de las medidas preventivos en la realidad cuando se aumentan las demandas de la calidad de poder. Se requieren los término dimensiones largos para demostrar eso entregado la energía eléctrica mantenga una calidad prometida.

El analizador de la red Unilyzer 900F de Unipower es una ayuda excelente a este tipo de por semana o la medida mensual.

3.7.1. Las funciones principales.

- La identificación del transductor automática.
- Los transmisores del propósito generales 0-20 y 4-20mA

3.7.2. Las medidas.

Los parámetros que miden son:

- El voltaje.
- El parpadeo una y tres fases (flicker)
- Armónicos. Impar, incluso armónicos de corriente y armónicos de tensión.
- El desequilibrio de voltaje de tres-fase
- Las desviaciones de frecuencia
- Todas las unidades se pueden medir simultáneamente

3.7.3. La actuación.

El equipo Unilyzer 900F, es un analizador de red de ocho-cauce con su propio disco duro y funcionamiento de la batería para quince minutos de

funcionamiento de reserva. La unidad puede guardar los archivos múltiples en las sucesiones sin descargar antes.

3.7.4. La medida de tiempo real.

El analizador de la red Unilyzer 900F permite obtener parámetros en forma simultanea por todas las unidades. En el waveforms del osciloscopio para las corrientes y voltajes puede estudiarse y en las vector diagrama fase posiciones. La ventana de tiempo real permite estudiar de waveforms, diagrama para el flicker.

3.7.5. La evaluación.

El archivo de tensión muestra datos y waveforms, muestra en un modo gráfico, lo cual puede imprimir y copiar.

El reporte de UNIPOWER por convicción de calidad, diseña las especificaciones normales EN 50160, en donde la generación del informe es de forma automática.

El UNILYZER tiene la posibilidad de exportar datos y los archivos moderados a otro software, por ejemplo en hojas de cálculo.

- Armónicos:
IEC 61000-4-7
- Flicker:
IEC 61000-4-15
IEC 60868



Figura 3.13. Equipo Unilyzaer 900F



Figura 3.14. Equipo Unilyzer 902F

3.8. Otros equipos.

En el Perú se han utilizado una diversidad de equipos, los cuales en la actualidad ya no son usados para las mediciones de perturbaciones. El motivo de esto es que las empresas concesionarias en algunos casos, los registradores de tensión que monitorean perturbaciones, los hacen pasar por analizadores de redes, los cuales no cumplen con los requisitos mínimos exigidos en la Norma Técnica y su Base Metodológica, como por ejemplo no pueden medir 2 periodos de medición, no miden flicker o miden los armónicos hasta la 20ava armónica.

3.8.1. Equipo Power Ace.

En el Perú, por parte de las empresas concesionarias este equipo ya no es usado para medir los parámetros de perturbaciones, dado que no cumple los requisitos mínimos exigidos en la Norma Técnica de Calidad y su Base Metodológica, es decir, en lo que respecta a las tensiones armónicas, registra en valores porcentuales de la onda fundamental y no en valores porcentuales de la tensión nominal según lo dispuesto en la Norma técnica.

En lo que respecta a flicker cumple con lo exigido en la Norma Técnica, pero no esta aprobado por la Autoridad. En la actualidad este equipo solo es usado para medir tensiones en BT y MT.

En el Perú las empresas concesionarias que usan este equipo son: ELECTRO NORTE, HIDRANDINA, ELECTRO CENTRO y ENOSA, pero a la fecha estos equipos han estado fallando continuamente, por lo las distribuidoras mencionadas han optado por dejarlo de lado, dado que al medir solo el parámetro Flicker le faltaría la medición de armónicas, teniendo que realizar otra medición para el parámetro de armónicas, ocasionando un gasto extra y pérdida de tiempo.

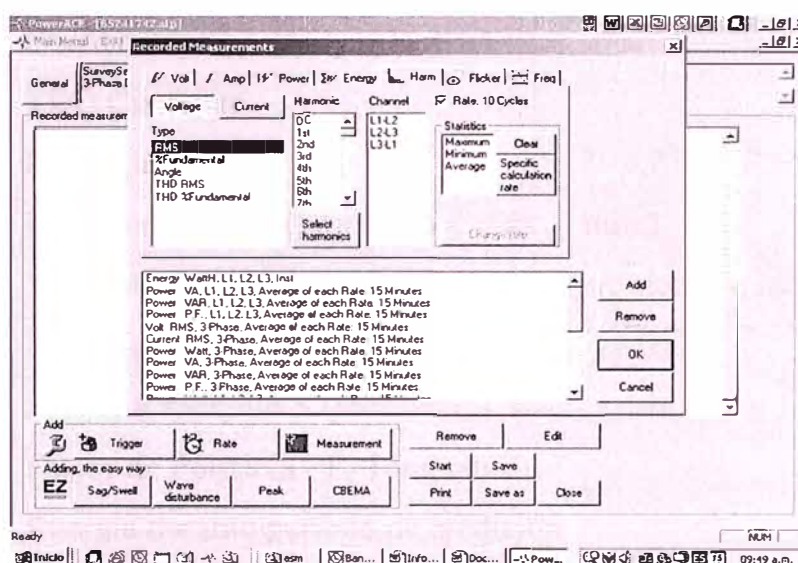


Figura 3.15. Software del Equipo Power Ace

3.8.2. Equipo Memobox 300.

El analizador MEMOBOX 300 es un registrador para el monitoreo de la calidad de Tensión, investigación de perturbaciones y optimización de Redes en Baja y Media Tensión. Existen tres diferentes modelos para cubrir los requerimientos de los usuarios.

- Tensión monofásica
- Tensión trifásica
- Tensión trifásica y Potencia

Parámetros de medición.

- Tensión L1, L2, L3: Fase - Fase o Fase - Neutro
- Tensión (promedio -, max. y min.)
- THD Tensión (promedio y max.)
- Flicker Pst, Plt
- Eventos (Caídas, Incrementos , Interrupciones)
- Corriente L1, L2, L3 y Neutro
- Corriente (promedio y máx.)
- TDD Corriente
- Potencias
- Potencia activa P (promedio -, máx. y min.)
- Valor absoluto de Potencia activa $|P|$ (promedio -, máx. y min.)
- Potencia reactiva Q (promedio -, máx. y min.)
- Potencia aparente S (promedio -, máx. y min.)
- Factor de Potencia PF, Tangentes
- Energía durante periodo de medición
- Potencia trifásica
- Potencia trifásica P, $|P|$, Q, S
- 2- y 3 Watímetros (método conexión Aron)

Aplicación.

- Medición potencia
- Análisis y registro de perfiles de carga
- Investigación de desequilibrio en carga
- Análisis y registro del Factor de Potencia
- Investigación de Perturbaciones
- Monitoreo de Caídas Tensión y Interrupciones
- Análisis de Flicker y THD
- Optimización de Redes

- Medición de corriente con flexible sensor LEM~flex 5 - 1500A
- Análisis de perfil de carga
- Análisis para conectar un nuevo consumidor
- Ajustar un banco de condensador

Comentarios.

Este equipo a la fecha en el Perú no es usado para las mediciones de perturbaciones según lo dispone la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y su Base Metodológica, dado que los registros de las tensiones armónicas de este equipo solo registran hasta la armónica 15.

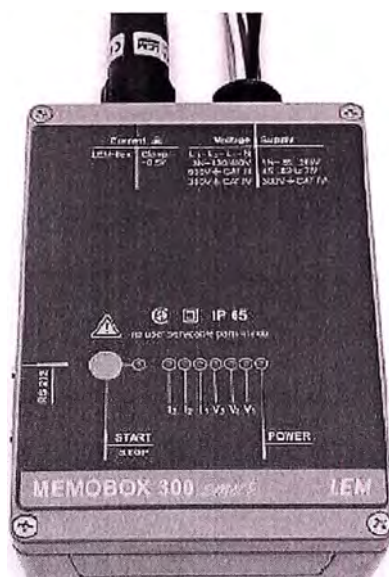


Figura 3.16. Equipo MEMOBOX 300

3.8.3. Equipo Nanovip STD.

Es un instrumento portátil pequeño, capaz de medir los 7 parámetros fundamentales y mostrarlos en un display de cristal líquido. Permite medir la medida exacta de voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, potencia aparente, reactiva y frecuencia. Las medidas hechas están en verdadero rms con exactitud del 1%, incluso con una variación en potencia desde 7 W a 150 Kw. con la pinza de 200 A /1V, o de 35 W a 750 Kw. con la de 1000A 1V (opcional).

También es capaz de proporcionar mediciones de DC por medio de pinzas de efecto Hall especiales disponible en ELCONTROL.

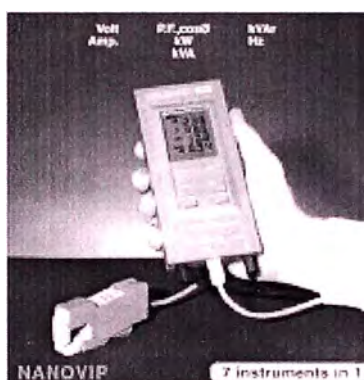


Figura 3.17. Equipo Nanovip STD

3.8.4. Equipo ENERGY TEST HT 2020.

Analizador trifásico de Energía, y Armónicos Trifásico. Posibilidad de grabación en memoria de hasta 64 medidas simultaneas.

Medidas de:

- Tensiones fases y entre fases
- Corrientes
- Potencias aparentes
- Potencias activas
- Potencias reactivas e inductivas
- Potencias reactivas capacitativas

- Factor de potencia
- Energía activa y reactiva
- Frecuencia
- Armónicos de tensión e intensidad hasta en 50° en tiempo real
- Visualización de formas de ondas
- Amplio visualizador 128 × 128 pixel.
- Frecuencia de muestreo a 6.400 Hz.
- Posibilidad de registrar 64 parámetros simultáneamente.
- Salida serie RS 232.
- Memoria de 2 Mb.
- Alimentación por pilas o alimentación externa.
- Autoapagado (deshabilitado durante el registro).
- Categoría III 600v.
- Dimensiones 225 × 165 × 70 mm.



Figura 3.18. Equipo ENERGY TEST

3.8.5. Equipo Fluke 423.

El nuevo analizador 43B Power Quality Analyzer de Fluke ofrece a todo aquel que trabaje con sistemas eléctricos una solución completa en una sola herramienta que le permitirá rastrear problemas y realizar un seguimiento de

los mismos para supervisar todos los parámetros de calidad de la energía eléctrica relevantes. Gracias a su capacidad de representar formas de onda de corriente y tensión, de calcular parámetros de alimentación y capturar fluctuaciones de tensión, transitorios y corrientes de arranque, el Fluke 43B proporciona a los usuarios un completo analizador de calidad de la energía eléctrica en un equipo compacto, resistente y portátil.

Estas capacidades significan que el Fluke 43B es la herramienta ideal para resolver con rapidez muchos problemas habituales de los equipos eléctricos: interruptores diferenciales que saltan, transformadores y cables que se recalientan, motores quemados, lámparas que parpadean y ordenadores que fallan sin causa aparente. Los problemas subyacentes en todos estos problemas derivados de la calidad de la electricidad pueden identificarse con el Fluke 43B, lo que permite que se puedan tomar las medidas correctoras adecuadas para subsanarlos.

- **Supervisión mejorada de fallos dinámicos e intermitentes**

El Fluke 43B está dirigido principalmente a ingenieros eléctricos, técnicos de mantenimiento de equipos, electricistas, ingenieros de instalaciones, técnicos de equipos industriales y muchos otros profesionales que tienen que tratar con fuentes de alimentación y redes eléctricas en su trabajo cotidiano. La interfaz de usuario mejorada del Fluke 43B facilita aún más el funcionamiento, mientras que sus posibilidades de seguimiento de fallos dinámicos e intermitentes, incluidas las nuevas medidas de corriente trifásica y registro de armónicos, añaden valiosas capacidades adicionales de realización de pruebas.

- **Multímetro incorporado y osciloscopio digital de doble entrada**

Además de las funciones relacionadas con la energía eléctrica, el Fluke 43B también incluye funciones de multímetro, así como un osciloscopio digital de doble entrada y 25 MS/s con capacidades

avanzadas de disparo. Con una sonda de tensión opcional 10:1, el osciloscopio puede capturar señales con un ancho de banda de hasta 20 MHz. Gracias a esta combinación, el 43B es la única herramienta que necesitan los ingenieros para estudiar una amplia gama de problemas relacionados con la calidad en la energía eléctrica.

- **Nuevas medidas trifásicas**

El modo de potencia del Fluke 43B ahora permite medir la potencia trifásica en sistemas equilibrados con sólo un conjunto de sondas de tensión y una pinza amperimétrica, mientras muestra gráficos en pantalla para indicar al usuario cómo configurar la medición. También se incluyen nuevas lecturas de factor de cresta para el modo Voltios-Amperios-Hz. El 43B ahora cuenta con 20 posiciones de almacenamiento en memoria (el doble que el anterior Fluke 43) para ajustes, datos de formas de onda y lecturas, que pueden recuperarse para su posterior análisis utilizando cursores.

Junto con el Fluke 43B se suministra de fábrica el software FlukeView actualizado, que puede realizar registro de valores, lecturas y representación de armónicos hasta el 51°, incluidos el THD y los ángulos de fase de los armónicos independientes, así como todas las demás lecturas mostradas en la pantalla del 43B. Una vez descargados en el PC, los datos obtenidos con el 43B pueden analizarse e incluirse en informes.

FlukeView para PC se ha transformado en un programa de 32 bits con formato Windows 95, y funciona con todas las versiones de Windows 95, 98, Me, NT 4.0 y 2000.

- **Interface inteligente**

Gracias a su interface de usuario mejorada, el Fluke 43B permite cambiar entre los modos más utilizados de calidad de la energía

eléctrica con sólo pulsar una tecla. El nuevo interface también ofrece un acceso rápido a las funciones de osciloscopio del 43B, con sólo 4 teclas de función y un menú de uso fácil y directo. El Fluke 43 original ya fue galardonado con el premio iF de diseño, otorgado por el Industrie Forum Design de Hannover, uno de los concursos de diseño de productos más importante del mundo. El nuevo 43B lleva esa excelencia en el diseño un paso adelante, haciendo incluso más fácil que los usuarios obtengan las respuestas que necesitan. El interface de usuario del Fluke 43B está disponible en los idiomas inglés, francés, alemán, italiano y español.

- **Capacidades de supervisión de la energía eléctrica**

La supervisión de la calidad de la energía eléctrica en períodos prolongados también es un factor importante a la hora de controlar averías intermitentes. Los valores de tensión y corriente pueden supervisarse de forma continua ciclo a ciclo durante un máximo de 16 días, y las horas y fechas de cada interrupción pueden conocerse con total sencillez utilizando cursores. Pueden registrarse y guardarse hasta 30 transitorios o formas de onda distorsionadas, de forma que pueden relacionarse las causas de las distorsiones con los registros de fecha y hora.

- **Diseñado para ser resistente y seguro**

Fluke sigue su compromiso constante con la calidad y la seguridad diseñando el 43B para realizar medidas en instalaciones de 600 V y categoría III. Al igual que el resto de la línea de productos Fluke, el 43B es compacto, portátil, resistente y fiable. Con un peso de 1,1 kg y unas dimensiones de 232x115x50 mm, el Fluke 43B Power Quality Analyzer está diseñado para resistir los golpes y vibraciones que puede sufrir en las duras situaciones de trabajo sobre el terreno.



Figura 3.19 Equipo Fluke

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DEL FLICKER EN EL PERÚ

4.1 Introducción

El objeto del presente estudio ha sido analizar la incidencia económica que pudieran tener en los grandes usuarios industriales las exigencias establecidas en la Norma técnica de Calidad del Servicio Eléctrico en materia de perturbaciones.

La entrada en vigencia de la Norma Técnica de Calidad de los servicios Eléctricos en el Perú, en abril de 1998, se efectuaron un conjunto de mediciones que permitieron concluir que en el país existen 2 importantes fuentes de Flicker, uno ubicado en el área del norte medio del país la cual es atribuible a SIDERPERU y la otra en el sur medio atribuible a ACEROS AREQUIPA, el cual es materia de análisis del presente documento.

Como punto de partida del estudio, se considero conveniente analizar la situación de ACEROS AREQUIPA, así como las concesionarias ELECTRO PERÚ ELECTRO SURMEDIO, EDECAÑETE y EDELNOR respecto de las posibles penalizaciones que podrían ser aplicadas por el OSINERG, en caso de superarse los niveles de compatibilidad electromagnética fijados en la Norma, dado que de existir penalidades a la Distribuidora, las mismas

deberán trasladarse a los usuarios responsables hasta tanto adecuen sus instalaciones.

Para el fin se considero necesario efectuar una evaluación del estado de las redes en cuanto al contenido de Flicker existentes, como el grado de cumplimiento esperable de la normativa.

Con ese objetivo diseño y coordino campañas de mediciones desagregada por niveles de tensión. Se establecieron los criterios operativos en lo referente al manejo de los equipos como a la selección de los puntos a medir a fin de asegurar un adecuado cumplimiento con los objetivos fijados.

Resumiré los principales resultados obtenidos de una compañía de medición efectuada en febrero del 2000 el cual fue efectuada en coordinación con ELECTRO PERÚ, Aceros Arequipas y la colaboración de ELECTROSURMEDIO y EDECAÑETE. Así también resumiremos lo Analizado por EDELNOR en el 2000. Por ultimo realizaremos un análisis de las mediciones por parte de las concesionarias desde la entrada en vigencia de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos hasta Junio del 2003.

Efectuare una serie de observaciones, conclusiones y propondré los límites sobre las características de este fenómeno que creo deben ser tomados en cuenta por el comité de análisis de perturbaciones que próximamente se formara y que tiene por cargo revisar la normativa existente y de ser el caso plantear su modificación.

4.2 Concepto de Flicker

La aparición visual de las variaciones de la luminosidad en las lámparas, causadas por variaciones en la tensión de alimentación es el fenómeno que se conoce como “Flicker” o parpadeo. El “Flicker” depende de la amplitud, de la frecuencia y de la duración de las fluctuaciones de tensión en el ámbito de

bajas frecuencias entre 0,5 y 30 Hz. Estas fluctuaciones de tensión no suelen tener una amplitud superior al $\pm 10\%$, por lo que muchos equipos no se ven afectados por ellas. Los principales receptores que ofrecen mayor sensibilidad a estas variaciones de tensión son las lámparas incandescentes; y debido a su uso extendido, el “Flicker” se define en términos del comportamiento de este tipo de dispositivos. No obstante, también puede observarse parpadeo en lámparas fluorescentes. Entre ellas, las que presentan una mayor inmunidad al fenómeno son las que se alimentan por balasto electrónico frente a las que se alimentan a través de una reactancia convencional.

Una sensación de parpadeo persistente puede llegar a ser muy molesto para las personas que puede producir estrés y cansancio visual. Dichas molestias pueden ser causa de la emisión de quejas a las compañías suministradoras de electricidad.

Las variaciones de tensión que ocasionan sensación de parpadeo, a su vez, consisten en una modulación de la envolvente del valor eficaz de tensión con distintas ondas moduladoras (sinusoidal, rectangular, en escalera, etc). Que puede aparecer por causas diversas. La más común es la presencia en la red de suministro, de cargas variables que absorben corrientes, por tanto, variables. Estos consumos variables, a través de la impedancia finita de la red de suministro, producen en ellas caídas de tensión variables que originan el parpadeo de la luminosidad de las lámparas incandescentes. La forma de onda moduladora más presente en la práctica es la rectangular y, aunque en menor medida debido a la menor presencia de las cargas que la provocan, en forma de onda en escalera.

Los principales productores de parpadeo son de tipo industrial como máquinas de soldadura por resistencia, hornos de arco, laminadoras, máquinas-herramienta, etc. Sin embargo, pequeños aparatos de uso doméstico o similares accionados por motor (frigoríficos, lavadoras, equipos de aire

acondicionado, impresoras, láser, fotocopiadoras, etc.) debido a su empleo generalizado, también pueden ser fuentes productoras de parpadeo.

Desde el momento en que la sensación de “Flicker” puede dañar la calidad de la onda recibida por los usuarios, surge la necesidad de analizar, evaluar y proponer medidas correctoras que mejore la calidad de suministro de la energía eléctrica.

Tal como se ha indicado en las definiciones iniciales, el flicker es en realidad una consecuencia de las fluctuaciones de tensión, consecuencia que se manifiesta básicamente en forma de fluctuaciones de intensidad luminosa (parpadeo) del alumbrado. La unidad de medida llamada “índice de perceptibilidad “P, está basada en un modelo biológico de la perceptibilidad del ojo humano ante las fluctuaciones de luz de una lámpara estándar de incandescencia de 60W.

La medida se basa en una medida de las fluctuaciones de tensión, según se ilustra en la figura 4.1.

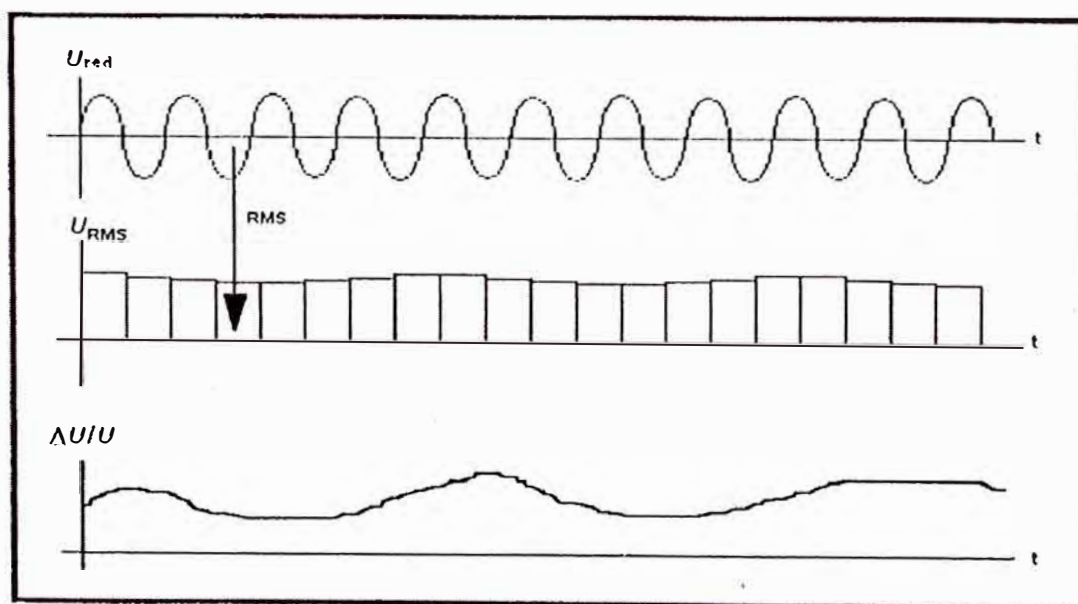


Figura 4.1 Cómputo de las fluctuaciones de tensión a efectos del flicker. Referencia N° 5 de la bibliografía.

Se miden el valor eficaz de cada medio periodo y se computan las variaciones de tensión entre semiciclos, refiriéndolas al valor eficaz promedio. De este cálculo se obtiene una información de la variación relativa de la tensión, pero no todas las fluctuaciones de tensión son igualmente perceptibles por el ojo humano en términos de variación de iluminación. Por ello, dichas fluctuaciones se descomponen en un espectro de frecuencias que va de 0,5 Hz a 25 Hz y se da un peso distinto a cada frecuencia. El máximo peso corresponde a una fluctuación de tensión de 8,8 Hz. Todo ello se ilustra en la figura 4.2.

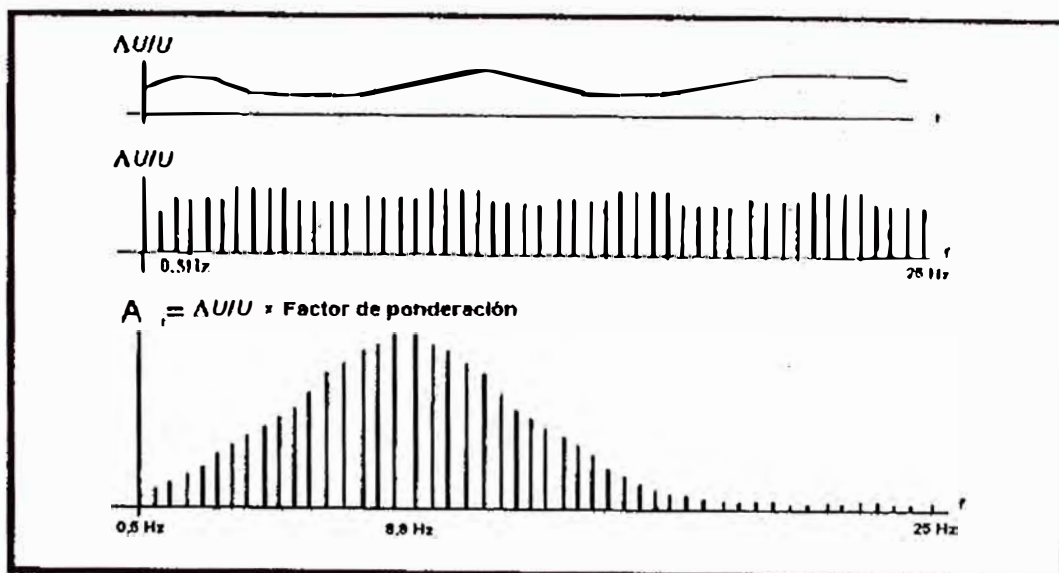


Figura 4.2. Ponderación de las distintas frecuencias de fluctuación a efectos de evaluación de flicker. Referencia N° 5 de la bibliografía.

De los valores de fluctuación ponderados según la frecuencia se obtiene un nuevo valor eficaz total, que una vez promediado a lo largo de 10 minutos indica de perceptibilidad para tiempos cortos, llamado PST.

Se considera que el flicker es perceptible para $PST > 1$ para periodos largos se usa un promediado de tercer orden de los PST durante dos horas (12 valores), obteniéndose el parámetro PST definido por la ecuación.

$$Plt = \frac{\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} P_{st\ i}^3}}{12} \dots\dots (4.1)$$

Se considera pues que PST = 1 es el umbral de perceptibilidad del ojo humano. Para tener una idea del orden de magnitud que esto representa en términos de fluctuación de la tensión diremos que a la frecuencia de máxima perceptibilidad, es decir, a 8,8 Hz, una fluctuación como la de la figura 4.4 de 0,25% daría un PST =1 como se ve, se trata de fluctuaciones muy débiles.

La verdad es que sobre el tema “flicker” y sus límites hay una gran confusión y se han cometido errores de normalización importantes. En primer lugar porque el alumbrado de incandescencia no es precisamente el más abundante y en segundo lugar porque en muchos países, a la hora de establecer límites, se ha confundido el umbral de perceptibilidad PST = 1, con el límite de tolerancia y algunos comités de reglamentación han fijado el valor unidad como límite para redes industriales, haciendo muy difícil el cumplimiento en el caso de determinadas líneas de baja potencia de cortocircuito.

Probablemente habría tenido un sentido físico más claro si se hablara de fluctuaciones de tensión a determinadas frecuencias o con determinados patrones de modulación, pero incluso la unidad elegida es un término con un significado confuso y los datos obtenidos de mediciones no facilitan el cálculo de soluciones en caso la instalación no cumpla con los límites.

4.2.1 EL PST.

El PST o término corto de probabilidad, es adecuado cuando se analizan perturbaciones de una fuente. Se define por la ecuación:

$$Pst = (0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50})^2 \dots (4.2)$$

P_j = Nivel excedido para i% del tiempo registrado tomado de la curva de función de probabilidad acumulada acumulativa FPCC.

Equivalen a los percentiles de la curva de Probabilidad Acumulada. Los coeficientes de ponderación indicados corresponden a un PST =1 con la curva de perceptibilidad del parpadeo especificada en la norma IEC-555-3.

4.2.2 EL PLT .

Para aparatos generadores de perturbaciones que poseen ciclos de trabajo superiores al periodo de observación de 10 minutos, fijado para evaluar la severidad de parpadeo a corto plazo (PST), por ejemplo hornos de arco, se debe establecer una metodología de cálculo apropiada. Se busca una metodología equivalente a la ya establecida y se define el término de severidad a largo plazo, PLT, y que se plantea en función de la PST, y se define por la ecuación:

$$Plt=(1/N)\left(\sum_{j=1}^{j=N} (Pst)^3\right)^{1/3} \dots\dots (4.3)$$

Donde:

P_{STj} = Es el P_{ST} de j-ésimo periodo de 10 minutos.

N = Cantidad de intervalos de 10 minutos considerados.

4.3 El Fenómeno del Parpadeo.

La mayoría de la gente ha experimentado la sensación de variar intensidad de luz de la lámparas incandescentes como otras cargas conectaron con las mismas cañerías circulan corrientes que variaban del drenaje. Esta variación perceptible en intensidad luminosa es parpadeo.

En ambientes domésticos, las placas calientes, los acondicionadores de aire, y las impresoras láser son los ejemplos comunes del equipo que pueden generar el parpadeo observable. Una descripción más exacta del parpadeo encontró en EN 61000-3-3 lo define como "...la severidad subjetiva del parpadeo impuso

ante la luz de 230-V, 60-W en espiral – arrolla las lámparas de filamento por las fluctuaciones del voltaje de fuente”.

Las especificaciones en EN 61000-3-3 y en los estándares relacionados del IEC que definen la instrumentación que mide se aplican exclusivamente a los sistemas 50-Hz, pero el trabajo es en curso proporcionar las especificaciones adicionales convenientes para el uso en los sistemas 60-Hz. El parpadeo se define en términos del comportamiento incandescente de la lámpara debido a uso común y porque la mayor sensibilidad del objeto expuesto incandescente de las lámparas de tensión cambia. El parpadeo se puede también observar con las lámparas fluorescentes.

La unidad de la ingeniera para la sensación instantánea del parpadeo se define de una manera tal que un valor de 1 corresponda al umbral de perceptibilidad para el 50% de la población humana. El parpadeo es fundamental un fenómeno fisiológico y se modela para explicar las características totales de la respuesta del sistema de la lámpara – ojo – cerebro.

Los métodos de medición del Flicker se detallan en el anexo 1.

4.4 Causas y Efectos

Una fluctuación de tensión se define como la modulación de amplitud en baja frecuencia de la envolvente del valor eficaz de la tensión de suministro. Las altas corrientes consumidas en los arranques repetitivos de dispositivos accionados a motor (u otras cargas variables de gran consumo, como los hornos de arco), cuando circulan a través de la impedancia no nula de las redes de distribución de energía, suponen unas de las principales causas de dicha modulación. En la figura 1 se muestra el esquema eléctrico correspondiente.

Puesto que la norma EN 61000-3-3 ciñe su alcance a dispositivos de consumo inferior a 16 A por fase, un gran número de cargas de entorno doméstico,

tales como frigoríficos, lavadoras, humidificadores o equipos de aire acondicionado pueden ser catalogados como equipos susceptibles de provocar fluctuaciones de tensión.

Sin embargo, en un futuro próximo, la norma EN 61000-3-11 afectará también a equipos con consumos comprendidos entre 16 A y 75 A, incluyendo equipamiento de media tensión que actualmente está sujeto a una conexión condicionada por parte de las compañías eléctricas, así como a equipos contemplados por la norma EN 61000-3-3 incapaces de satisfacer sus requisitos de emisión en baja frecuencia.

Entre las consecuencias de las fluctuaciones de tensión podemos incluir al efecto acumulativo de la variación de la luminancia, principalmente en lámparas de incandescencia, conocido como “Flicker”. Este efecto produce molestias a la percepción humana y se sospecha que afecta a disfunciones psíquicas con la epilepsia, así como que contribuye a alteraciones del sistema nervioso como el estrés. El “Flicker” provocado por aparatos productores de fluctuaciones de tensión está también limitado por la norma EN 61000-3-3 ya que, a pesar de que es una consecuencia de éstas, sus características acumulativas le confieren una naturaleza diferente. Así pues, su estudio queda fuera de las pretensiones de este artículo.

4.5 Estudio del Flicker en el Perú

4.5.1 Mediciones de Flicker en el Sistema Interconectado cerca de la planta de Aceros Arequipa.

Dentro del Marco de la norma de calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), en febrero del 2000 se realizaron mediciones simultáneas de Flicker en diversos puntos de la red eléctricamente cercanos al punto de suministro a la planta N° 2 de la corporación Aceros Arequipa, dichas mediciones fueron coordinadas por Aceros Arequipa y efectuadas por

Personal técnico de ELECTROPERU, con supervisión de OSINERG y participación de ELECTROSURMEDIO y EDECAÑETE en los puntos medidos en sus redes.

El objetivo de tales mediciones fue analizar la influencia de la perturbación Flicker en los diferentes puntos de la red en el punto de conexión en alta tensión como en los puntos de baja tensión a fin de determinar la influencia de la carga de los hornos eléctricos de Aceros Arequipa en su planta 1 de Pisco y sobre esta base proponer modificaciones a la Norma a fin de que sea más compatible con nuestra realidad. Las variaciones de tensión involucradas en el flicker son mucho menores a los límites de susceptibilidad de los equipos eléctricos, por tanto la presencia de Flicker no afectará a los equipos eléctricos.

Los métodos de medición de Flicker de alguna manera intentan simular la percepción visual de un grupo de personas, es así que se desarrollan diferentes medidores en países como Francia, Inglaterra, USA, Japón. La UIE (Unión Internacional de Electrotecnia) desarrollo un medidor capaz de sustituir a los demás y tener medidas que sean comparables. Esta metodología fue posteriormente adoptada por la IEC para crear su norma sobre el Flicker.

4.5.2 Programación de las Mediciones.

De acuerdo a las coordinaciones previas y la disponibilidad de equipos se instalaron medidores en los siguientes puntos:

1. C167 suministro a Aceros Arequipa en 220 KV SE Independencia.
2. C170 salida en 60 KV a Pisco en la SE Independencia
3. C181 salida en 10 KV SE Independencia
4. C187 llegada en 60KV en Cañete
5. C191 salida 60 KV en SE ICA
6. C200 salida 10 KV en SE ICA

7. C208 salida 60 KV SE MARCONA (*)
8. P001 salida en baja tensión 220 V en SE de distribución en CAÑETE
9. P002 salida en baja tensión 220 V en SE de distribución en PISCO
10. P003 salida en baja tensión 220 V en SE de distribution en ICA
11. P004 salida en baja tensión 220V en SE de distribución NAZCA (*)

(*) Los datos registrados corresponden a sólo un día.

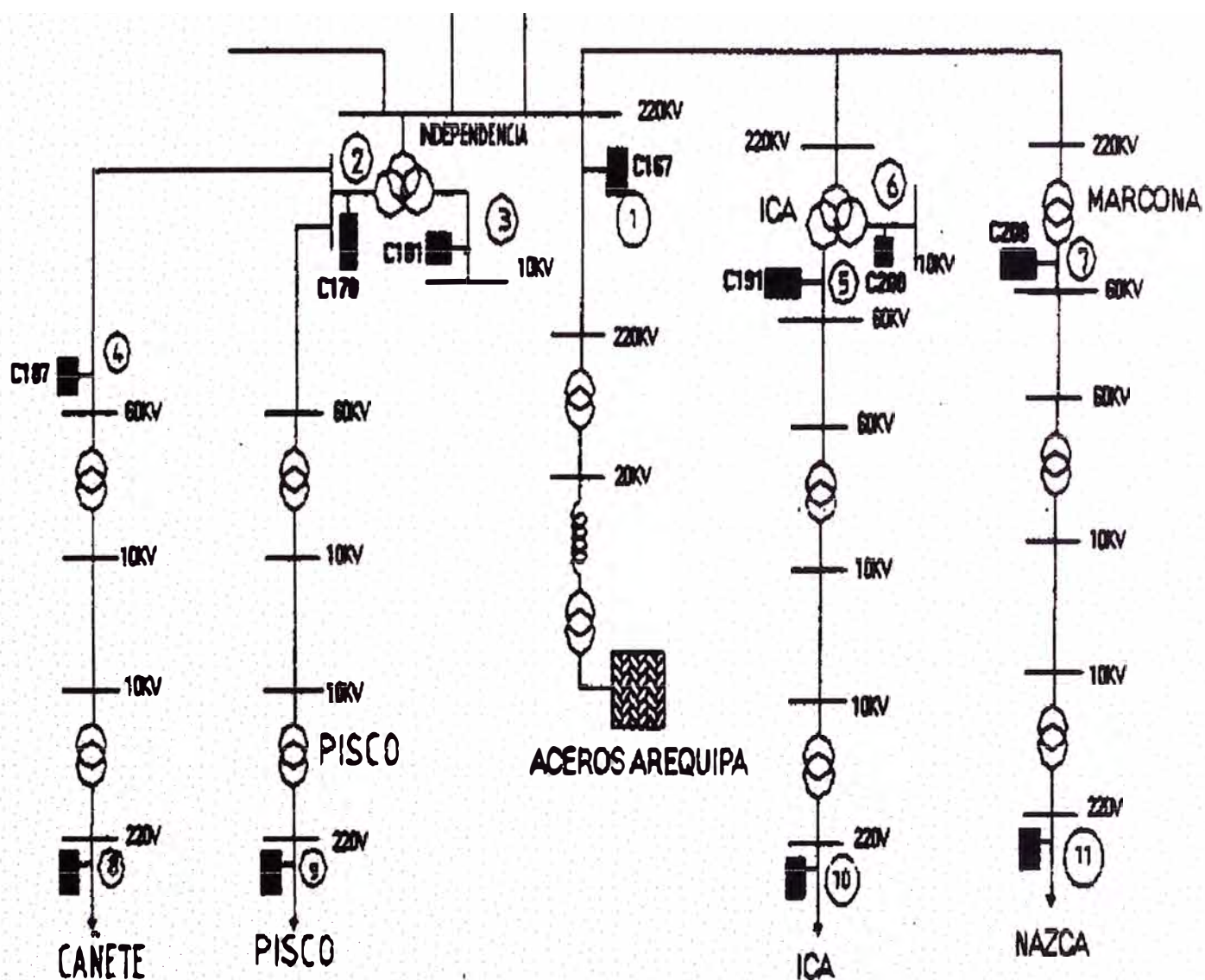


Figura 4.3 Diagrama unifilar de la red de suministro Aceros Arequipa y la instalación de los medidores.

4.5.3 Análisis de las mediciones

La campaña se efectuó de manera de realizar las mediciones en forma simultánea en diversos puntos. La instalación de los equipos se inicio del 20 al 22 de febrero y se retiraron entre el 2 y 3 de Marzo del 2000. La comparación de mediciones en SEIN, PISCO BT, ICA BT CAÑETE BT: Para el análisis se consideran los registros desde las 00hs del 23 hasta las 23h20m del 29 siendo los 7 días continuados especificados por la Norma. Con la información registrada se han hecho comparaciones entre las mediciones de SEIN en 220 KV y los registrados en los puntos en baja tensión en las localidades aledañas, esto tiene su fundamento en la medida que la perturbación Flicker es un fenómeno óptico relacionado con la variación de la iluminación debido a variaciones cíclicas de la tensión, que a partir de ciertos niveles producen molestias, por tanto se comparan los registros en el punto de conexión C167 y las mediciones en baja tensión de P001 en CAÑETE, P002 en PISCO y P003 en ICA.

4.5.4 Atenuación del Flicker con los niveles de tensión.

Para una mayor visión lo que produce el efecto del nivel de tensión en los transformadores, se realizó una medición en la SET Independencia en el punto de acoplamiento común con el sistema, observándose que el estilo del Flicker se conserva pero en menor proporción según se muestra:

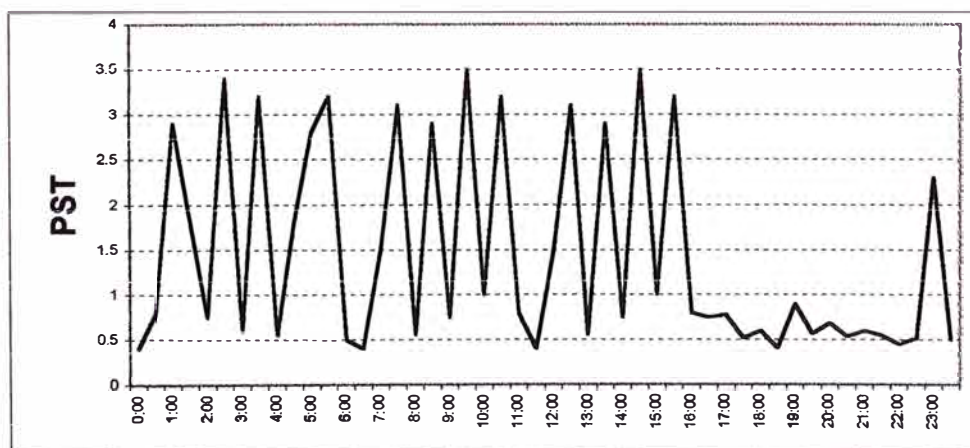


Figura 4.4 Flicker por nivel de tensión 220, 60 y 10Kv. – SET Independencia.

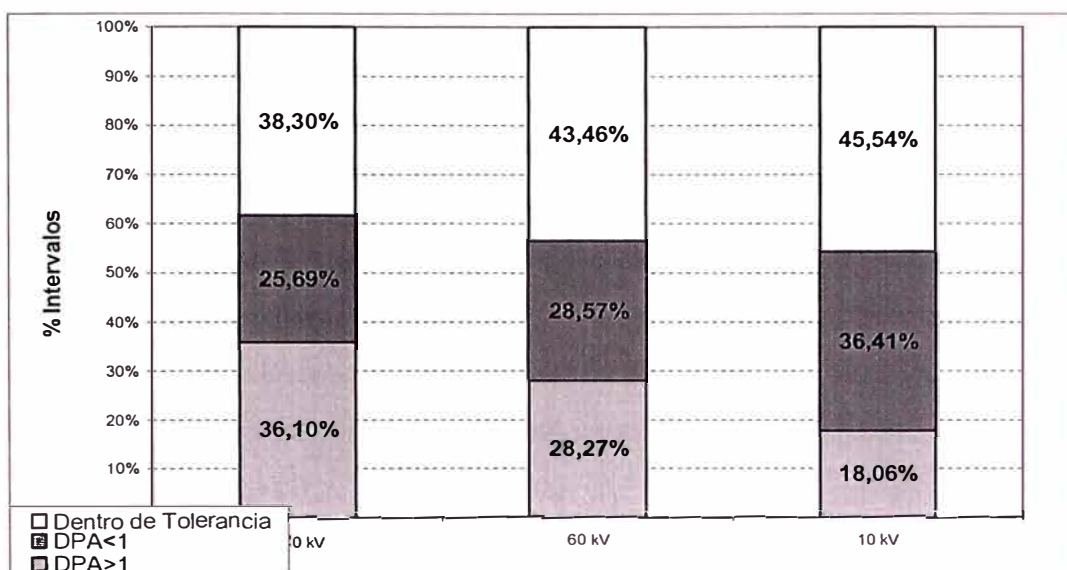


Figura 4.5 Comparación de intervalos fuera de rango

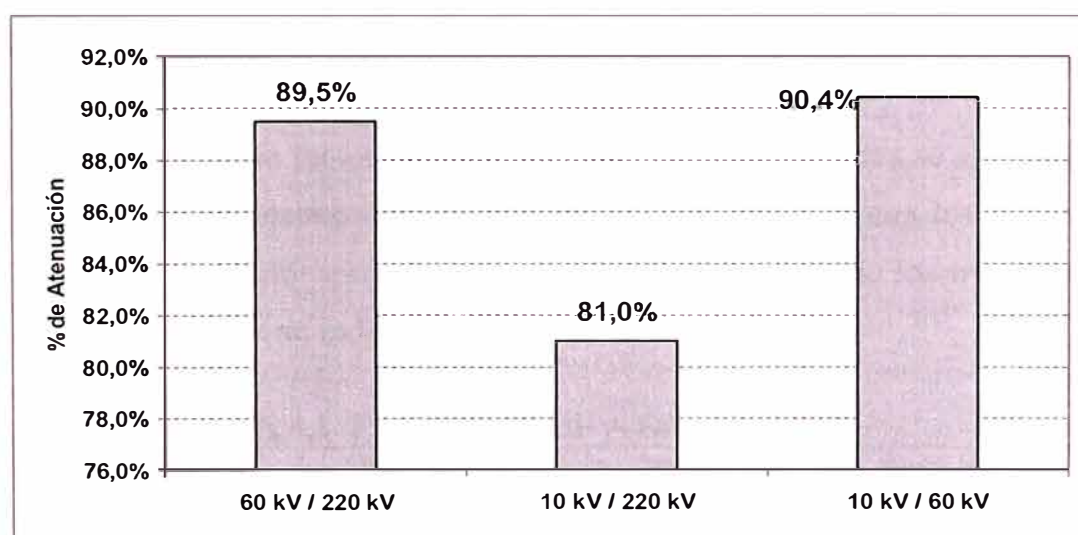


Figura 4.6. % de atenuación por nivel de tensión – SET Independencia

Con el fin de encontrar una relación de atenuación se ha aproximado a una curva polinómica de tendencia en el periodo de operación del horno eléctrico, es decir excluyendo la hora punta, de lo cual se puede apreciar en el gráfico que los niveles de PST en los diferentes puntos siguen la misma tendencia de la que se registra en SEIN en el punto de conexión.

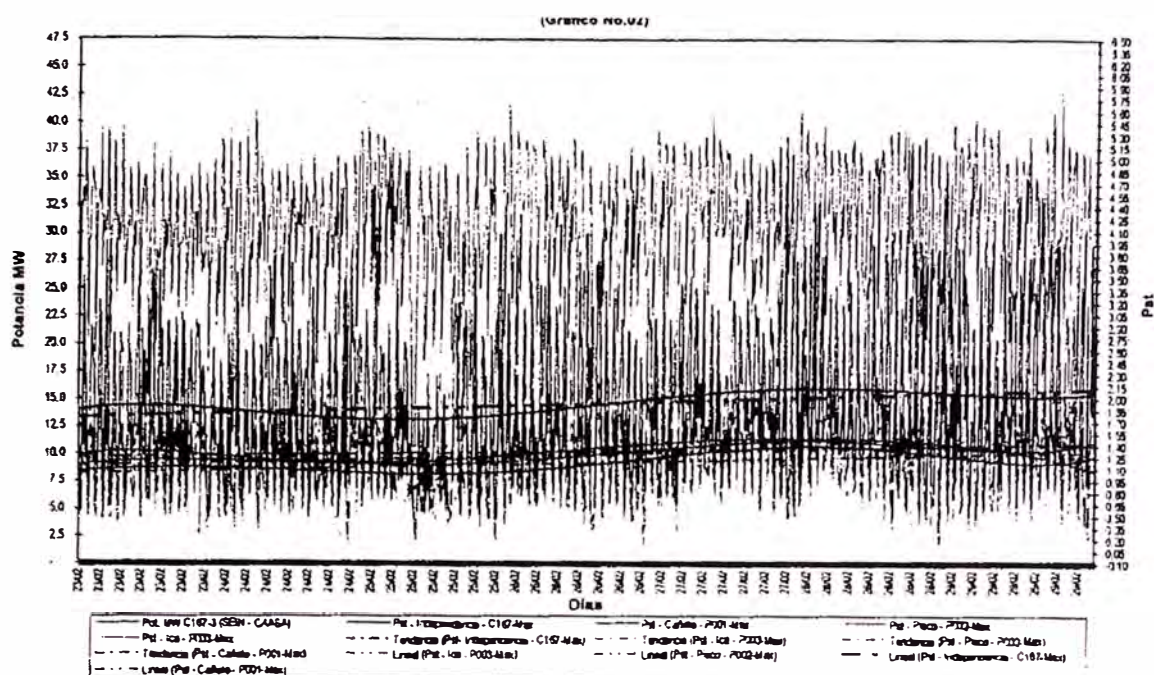


Figura 4.7 Potencia – PST C167 – P001 – P002 - P003 – P004
Referencia N° 3 de la bibliografía

Para encontrar un factor de atenuación, la curva polinómica se aproximó a una recta y se encontraron valores máximos y mínimos con los cuales se encuentra un factor que puede considerarse promedio de los tres lugares analizados según se indica en la tabla 3.1.

TABLA 4.1. FACTORES DE ATENUACIÓN

	C167 SEIN	P001 CAÑETE	FA 1	P002 PISCO	FA2	P003 ICA	FA 3
Máximo PST	2,1	1,3	0,619	1,4	0,667	1,4	0,667
Mínimo PST	1,7	1,04	0,619	1	0,665	1,19	0,7
Promedio Parcial				1,13	0,666		0,683
Promedio							0,665

FA Factor de atenuación

De aquí se desprende que debe considerarse un factor de atenuación el cual varía según las características de la red así podemos verificar que los valores registrados en ICA tienen una atenuación de 31,7% mientras que los registrados en Pisco tienen una atenuación de 33,3% y los presentados en Cañete tienen aun una mayor atenuación 38,5% que probablemente se deba a la mayor distancia y una transmisión en 60KV, mientras que hacia

ICA la transmisión es en 220 KV. Aquí se puede concluir que establecido un nivel en la baja tensión.

Se aplique un factor de atenuación del orden de 0,655. Es decir si se establece un nivel de 1 en la baja tensión para que éste sea reflejado en el nivel en 220KV debe ser 1,53 veces más para tener el mismo efecto que en la BT.

Esta comprobación que ya se había detectado en las primeras mediciones se está aplicando por ejemplo en BRASIL donde se está revisando los límites de las perturbaciones.

4.5.5 Análisis del comportamiento del PST durante un día, una colada. Durante hora punta

En mediciones anteriores realizadas se encontró que el valor más alto de P_{ST} se presentaba en la primera colada y esto se explica debido a la temperatura baja de la carga, en las siguientes coladas el PST de inicio disminuye y durante la fusión el nivel tiende a bajar de manera que en la etapa de baño plano está en el orden de 0,44; la acción tomada fue de disminuir la potencia al inicio de la primera colada, lo que no afecta sensiblemente a la producción, en las mediciones de esta campaña ya se tiene como práctica de uso de un menor tap durante la primera colada, en el transcurso del día de la tendencia se mantiene tendiendo en algunos días a subir esto se debe a que durante el día salen de servicio algunas líneas de transmisión para su mantenimiento, afectando el nivel de cortocircuito.

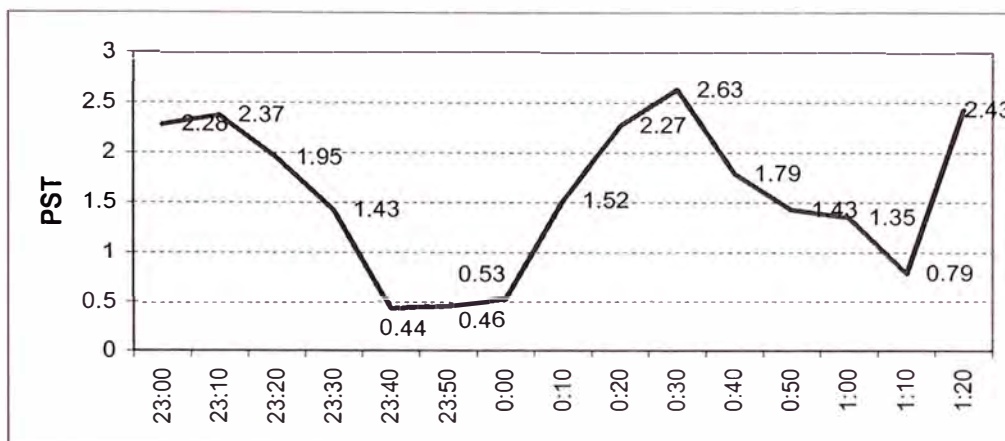


Figura 4.8. PST durante 2 primeras coladas del día 23

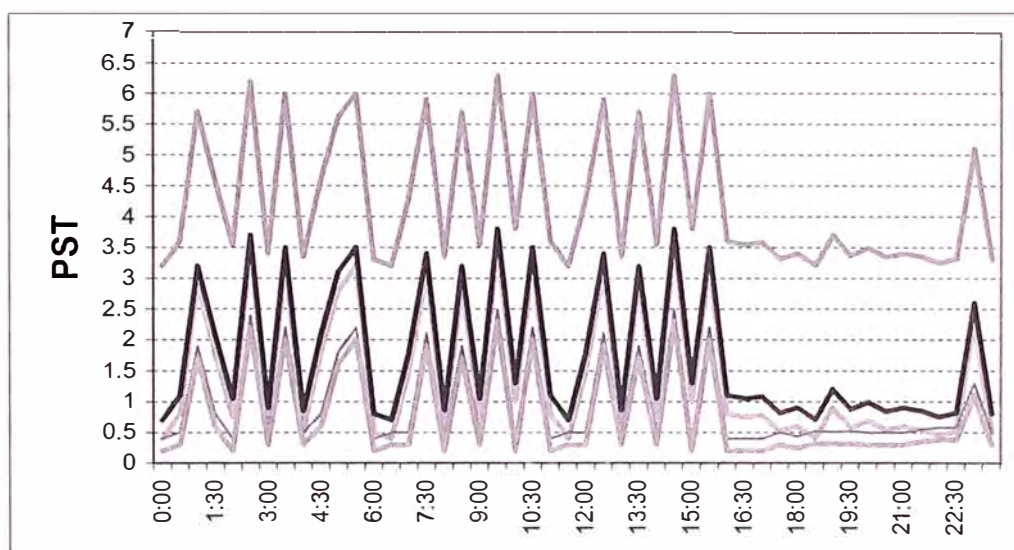


Figura 4.9. Potencia - PST C167 – P001 – P002 – P003 – P004

Durante la hora punta es decir de 18 a 19 h. hasta las 22 o 23 se paraliza la operación del horno y en este tramo el nivel de perturbación es bajo, este es un hecho importante debido a que justamente en la hora punta es donde se utiliza la mayor iluminación tanto pública, comercial como doméstica y por ende es el periodo más sensible desde el punto de vista del Flicker, en ese periodo el horno está paralizado.

En las siguientes gráficas, durante las horas punta de los días de la semana no funciona los hornos pero el día domingo el funcionamiento es continuo según se muestra.

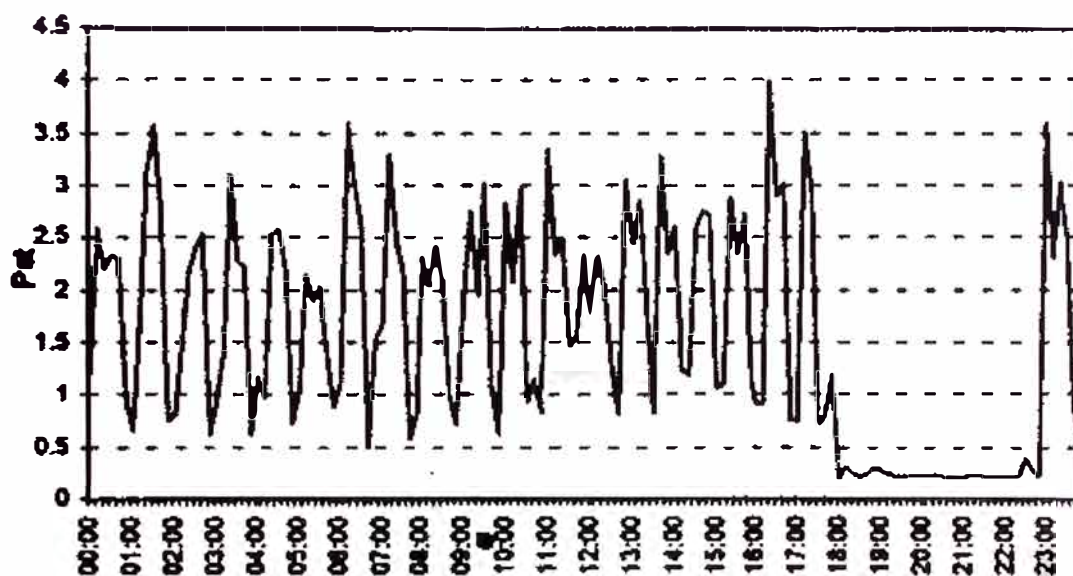


Figura 4.10. Flicker en Independencia 220 kV. día martes típico. Referencia N° 3 de la bibliografía.

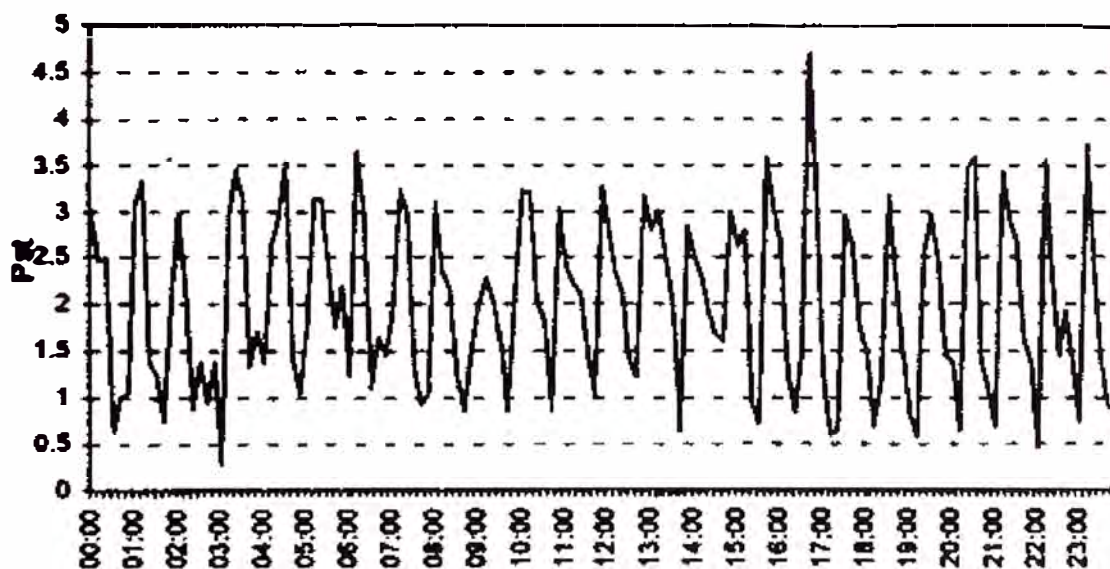


Figura 4.11. Flicker en Independencia 220 kV. día domingo típico, nivel PLT. Referencia N° 3 de la bibliografía

En el estudio de la UIE. Indica que el periodo de corto tiempo PST fue utilizado para evaluar los disturbios causado por cargas individuales como son: bombas, calentadores o aparatos domésticos, en los casos de efectos combinados de cargas de naturaleza aleatoria como son las máquinas de soldar o el caso de los hornos eléctricos de carga variable, es necesario considerar un criterio de mayor alcance y definió el uso del PLT el cual se calcula con la relación a partir de la información del PST en un período de mayor alcance (2 horas)

$$PLT = \frac{\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} P_{st i}^3}}{12} \quad \dots\dots 4.4$$

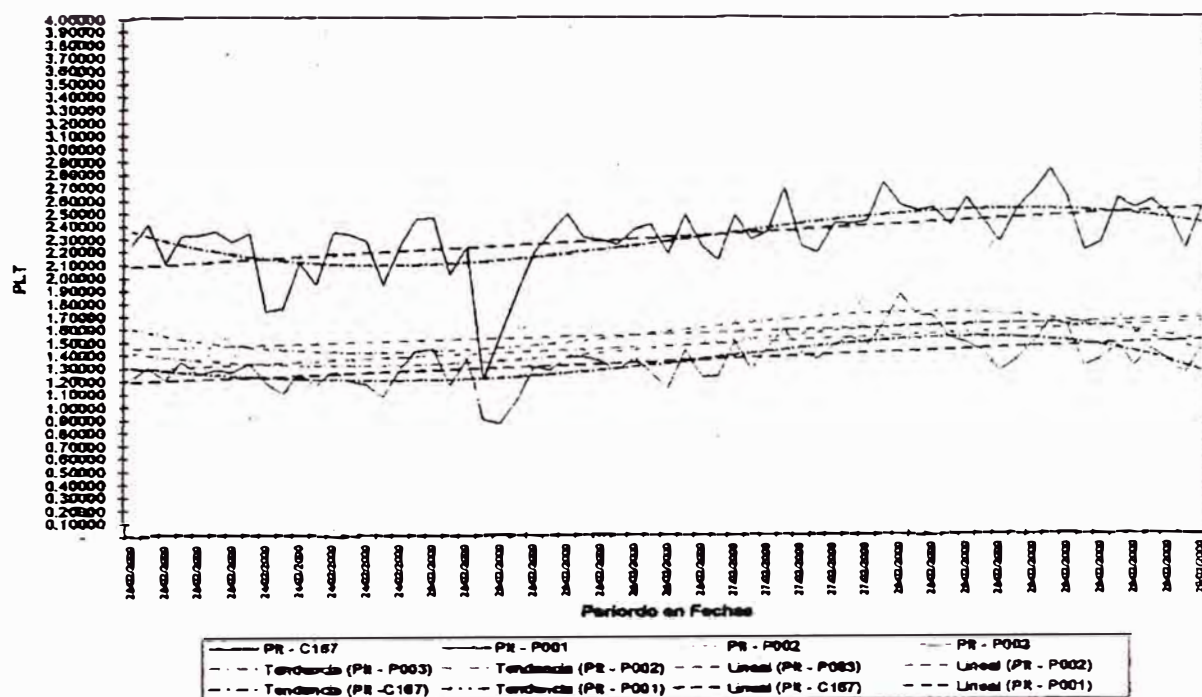


Figura 4.12. Potencia - PLT C167 – P001 – P002 – P003
Referencia N° 3 de la bibliografía

El periodo considerado es de un PLT para 12 periodos de PST continuados. En los cálculos a partir de la información del PST se establece los siguientes resultados.

La norma Italiana establece bajo condiciones normales de operación en cualquier periodo de una semana un nivel de $PLT \leq 1$ para el 95% del tiempo (norma Italiana CEI EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. Data de pubblicazione 200-03 segunda Edizione Classificazione = 110-22 Fascicolo 5564).

Como puede apreciarse las normas se están actualizando y están considerando el índice de severidad de largo tiempo lo que significa que a igualdad de condiciones por ejemplo con Europa par un nivel de $PLT = 1$ en la baja tensión, en el caso nuestro estaría reflejado un nivel de $PLT =$

1,53 en SEIN. Decimos en igualdad de condiciones de la red en Italia, sin embargo para las características de la red nuestra el PLT debe ser mayor a 1, estimamos que este podría estar en 1,5 en baja tensión considerando que en la etapa que se realizó la compañía de medición no se han percibido molestias de Flicker en los sistemas de iluminación.

4.5.6 Influencia de Aceros Arequipa en la zona Sur medio del país.

Revisada la información recabada de los equipos de medición, se procesó y se observa que la influencia de Aceros Arequipa se distribuye por toda la zona Sur del país, asimismo se realizaron mediciones cercanas a la SET Independencia, resultando que la mayor influencia correspondía a Aceros Arequipa. Cabe resaltar que todas las mediciones hasta ese entonces de la concesionaria EDECAÑETE resultaron de mala calidad en lo referente a Flicker.

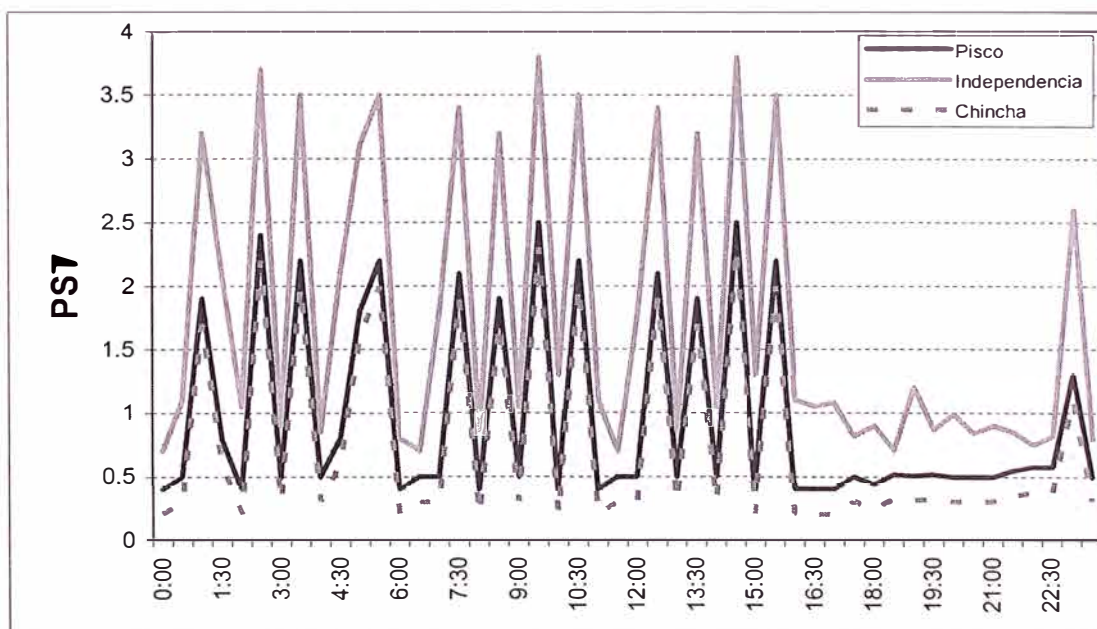


Figura 4.13. Flicker en suministros MT- ESM, CHINCHA – PISCO – INDEPENDENCIA día martes típico.

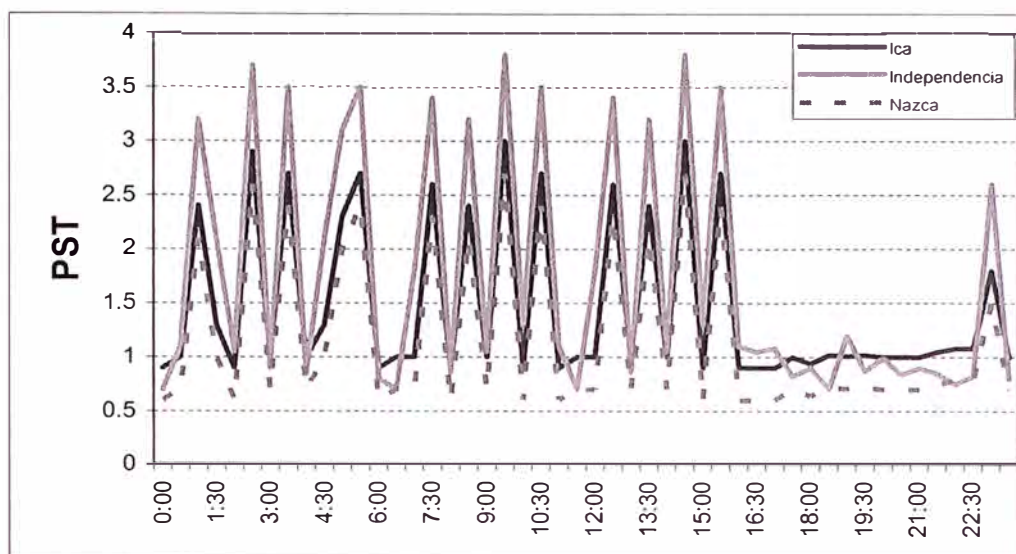


Figura 4.14. Flicker en suministros MT- ESM, ICA – NAZCA – INDEPENDENCIA día martes típico.

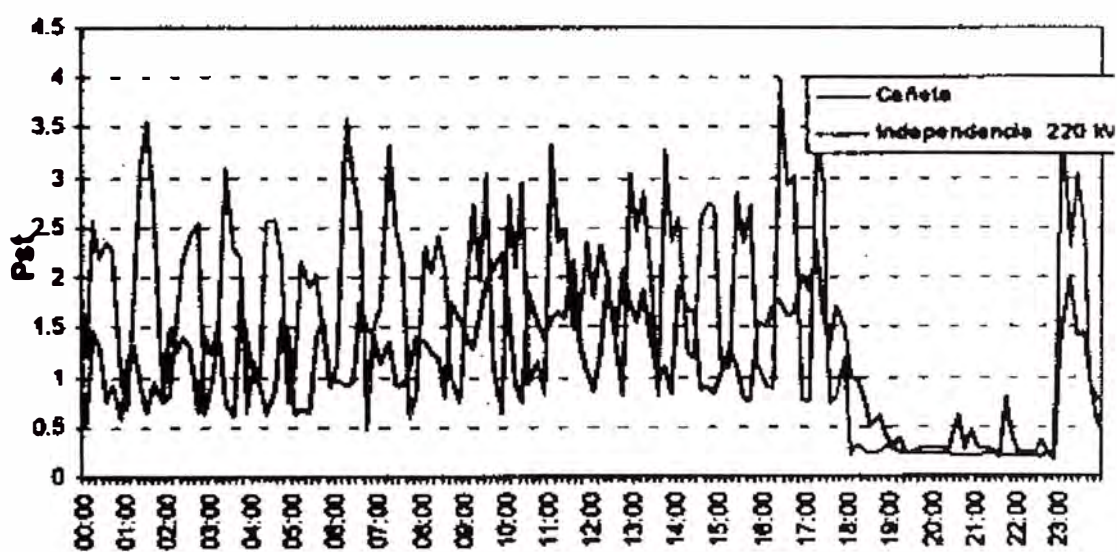


Figura 4.15. Flicker suminist. MT- Edecañete, Cañete–Independencia día martes típico. Referencia N° 3 de la bibliografía

4.5.7 Soluciones planteadas

Las soluciones planteadas tienen varios alcances:

Revisión del indicador PST y nivel establecido por la NTCSE.

Como se ha venido sustentando y documentando con las mediciones realizadas debe revisarse y considerarse el índice de severidad de largo tiempo como indicador de la perturbación Flicker PLT.

Debe establecer un nivel razonable, de acuerdo con nuestras redes para el indicador PLT, que sea medido en la red de baja tensión, donde están conectados los circuitos de alumbrado en condiciones normales de las redes.

Debe considerarse un factor de atenuación de 0,65 para que el indicador sea reflejado en el punto de conexión.

Características de la Red de Suministro

El Flicker producido por los hornos eléctricos es directamente proporcional a la potencia de Cortocircuito del horno e inversamente proporcional al nivel de cortocircuito de la red de alimentación.

$$P_{st} = K_{st} \times (S_{ccf}/SCN) \quad \dots\dots (4.5)$$

Donde:

K_{st}: Factor que depende de la estabilidad del arco (características constructivas y de operación)

S_{ccf} : Potencia de cortocircuito del horno

SCN: Potencia de cortocircuito de la red

De aquí se concluye que una de las medidas para reducir el Flicker es aumentando la potencia de cortocircuito de la red, el cual obviamente depende del crecimiento industrial y energético del país, otra posibilidad es aumentar el nivel de tensión de suministro, que en el caso de Aceros Arequipa ya está en el mayor de transmisión 220KV.

De acuerdo a las proyecciones del sector energía se estima que la red pueda estar creciendo en los próximos años con la cual la perturbación Flicker se verá reducida en el futuro. Se estima que para el año 2010 el nivel de cortocircuito en SEIN sea de 3900 MVA.

Características de Procesos y Equipo en la Planta

Las características de los equipos y la naturaleza del proceso son también aspectos que están relacionados con la generación del Flicker.

A este respecto la situación es la siguiente:

Los hornos eléctricos tienen un control electrónico del arco por impedancia y el accionamiento es con un sistema hidráulico muy rápido, con lo cual se mantienen una alta estabilidad del arco. El horno eléctrico de fusión de 45 MVA actual utiliza también una reactancia serie para la reducción de perturbaciones así como un filtros de armónicos y compensación reactiva

La naturaleza de la carga juega un factor importante. En el horno se utiliza chatarra y prerreducido siendo este último de naturaleza granular. Para reducir las variaciones producidas por la caída de chatarra durante la fusión se ha instalado una cizalla hidráulica para el corte de la chatarra de manera que sea trozos de menor tamaño y así disminuir las caídas de chatarra que son las que generan los cambios de posición de los electrodos y por tanto de la potencia eléctrica consumida.

El segundo material empleado es el hierro esponja, el cual es alimentado en forma continua en la etapa de baño plano por tanto esta carga no varía las condiciones del arco. Para la producción de hierro esponja se dispone desde 1996 de una planta de reducción directa conformada por dos hornos usando como reductor el carbón.

En pruebas que se han realizado con un mayor uso de hierro esponja es posible procesar coladas con dos e inclusive con una sola cesta, sin embargo esto requiere una mayor producción de hierro esponja o la

importación del mismo. Aceros Arequipa tiene en estudio la instalación de una planta de reducción directa de mucho mayor capacidad que el actual, utilizando el Gas de Camisea como reductor.

El proceso actual de operación del horno eléctrico, es con la utilización de la técnica de escoria espumante manteniendo el arco sumergido lo cual le da mayor estabilidad al arco reduciendo aun más las perturbaciones.

Compensador

Se ha analizado la factibilidad de instalar un equipo de compensación habiéndose llegado a tener cotizaciones de importantes fabricantes, los cuales sin embargo indican que con la tecnología actual y las características de cortocircuito de la red, no es posible conseguir los niveles requeridos por la NTCSE, los equipos que tienen un costo de US \$ 3'000 000 pueden reducir a la mitad de perturbación producida es decir si registramos en SEIN niveles de 3,5 a 3,8 podrían ser reducidos a 1,9.

Por otro lado al ver objetivamente que aun en las actuales condiciones la perturbación no genera molestias en los circuitos de alumbrado hacen innecesario la instalación de este compensador, más aun si se proyecta que la potencia de cortocircuito de la red ira en aumento y por tanto el nivel de perturbación será menor.

4.5.8 Posible Compensación mensual de ELECTROPERÚ por presencia de Flicker:

Antecedentes:

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), establece como uno de los indicadores de la calidad del producto al índice de severidad por Flicker (PST), definido de acuerdo a las Normas IEC. El PST según la NTCSE, no debe superar la unidad en alta, media ni baja

tensión, considerando el límite: $PST = 1$ como el umbral de irritabilidad asociada a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de la población.

Cálculo de compensaciones si se aplicará la NTCSE, atribuibles a la Corporación Aceros Arequipa.

Se realiza el cálculo de compensaciones por exceso de emisión de Flicker tomando en consideración la tercera etapa de aplicación de la NTCSE que se inició en enero del 2002.

Las mediciones efectuadas durante 1998 y 1999 como parte de una campaña piloto, así como mediciones propias de ELECTROPERÚ a partir del mes de octubre de 1999, en que se iniciaron oficialmente las mediciones en el marco de la NTCSE, han permitido identificar la presencia de Flicker en exceso a la tolerancia en los puntos de suministro de ELECTROPERÚ a ELECTRO SUR MEDIO y EDECAÑETE.

Al respecto, en el cuadro N ° 1 se presenta la evaluación de los intervalos de medición con presencia de Flicker que exceden la tolerancia de la NTCSE y en el cuadro N ° 2 se presenta la estimación de la compensación mensual que tendría que abonar ELECTROPERÚ a partir de enero del 2002 si no estuviera suspendido el pago de compensaciones, estas compensaciones son atribuibles a las emisiones de Flicker de la corporación Aceros Arequipa.

TABLA 4.2. INTERVALOS DE MEDICIÓN CON PRESENCIA DE FLICKER QUE EXCEDE LA TOLERANCIA DE LA NTCSE

N °	Punto de Entrega	Nivel de Tensión (kV)	Cliente	Intervalos Con presencia de Flicker (PST>1)	
				N ° de Intervalos	% mala calidad
1	Independencia	60	ELECTRO SUR MEDIO	417	41,37%
2	Independencia	10	ELECTRO SUR MEDIO	471	46,73%
3	Ica	60	ELECTRO SUR MEDIO	591	58,63%
4	Ica	10	ELECTRO SUR MEDIO	810	80,36%
5	Marcona	60	ELECTRO SUR MEDIO	528	52,38%
6	Cañete	60	EDECAÑETE	448	44,44%

TABLA 4.3. ESTIMACIÓN COMPENSACIÓN MENSUAL POR PRESENCIA DE FLICKER A PARTIR DE ENERO DEL 2002

N°	Punto de Entrega	Nivel de Tensión (kV)	Cliente	Monto a compensar U.S.\$
1	Independencia	60	ELECTRO SUR MEDIO	757 451,97
2	Independencia	10	ELECTRO SUR MEDIO	3 687,42
3	Ica	60	ELECTRO SUR MEDIO	937 672,16
4	Ica	10	ELECTRO SUR MEDIO	696 541,40
5	Marcona	60	ELECTRO SUR MEDIO	82 098,11
6	Cañete	60	EDECAÑETE	207 739,84
COMPENSACIÓN TOTAL MENSUAL U.S.\$				2 685 190,90

4.5.9 Conclusiones

- El Flicker es una perturbación óptica percibido por un conjunto de personas observando el nivel de iluminación de una lámpara incandescente producido por variaciones de tensión en el circuito eléctrico que lo alimenta. No tiene efectos eléctricos en los equipos eléctricos
- En las mediciones realizadas se observa una atenuación entre el punto de medición en Alta tensión y en la red de baja tensión donde están conectados los circuitos de alumbrado. Por tanto los niveles que se

definan para la baja tensión deben ser afectados por un factor de 1,53 para la red en 220 KV.

- El nivel de perturbación que se defina en la baja tensión debe estar referido al índice de perturbación de largo tiempo PLT, en un periodo de una semana al 95% del tiempo en condiciones normales, esto es que cuando no hay una reducción del nivel de cortocircuito por salida de unidades de generación y/o líneas de transmisión. Estimamos que debe ser un nivel más adecuado con la naturaleza de las redes eléctricas en el país.
- El nivel actual de PST = 1 en el punto de conexión establecido por la NTCSE no es adecuado y la penalidad resultante llegaría a la exorbitante cantidad de US \$2' 700 000 por mes con lo cual planta quedaría paralizada al no poder operar en esas condiciones.
- Estimamos que los niveles de perturbación observados actualmente no generan molestias, por tanto la instalación que representa una alta inversión de US \$ 3' 000 000 no tendría una utilidad real considerando además que en el futuro aumentará el nivel de cortocircuito, disminuyendo el nivel de la perturbación actual.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE LAS ARMÓNICAS EN EL PERÚ

5.1 Introducción

Cuando un cliente establece un contacto con un laboratorio de ensayos pretende resultados confiables de las mediciones, confidencialidad, capacidad técnica, personal calificado, métodos y procedimientos de ensayo de acuerdo a normas, entre otras cosas.

Con el propósito de lograr la satisfacción de sus clientes, el laboratorio de ensayos debe cumplir con todos estos requisitos y además debe poner especial atención en las “otras cosas” que conforman las expectativas del cliente para lo cual, estas últimas, deben ser traducidas en las especificaciones del servicio prestado por el laboratorio, de manera tal que este servicio sea considerado de “Calidad”.

Una buena planificación de la calidad requiere de una comunicación precisa entre cliente y proveedor.

Debido a que la información esencial de las necesidades del consumidor se puede transmitir sólo en parte por medio de palabras, la sociedad industrial exige cada vez más una mayor precisión para comunicar la información relativa a la calidad pretendida por el cliente. Esa precisión se consigue cuando lo "decimos con números".

Para "decirlo con números" se debe efectuar mediciones y para poder hacerlo debemos establecer unidades de medida que permita traducir las necesidades del cliente en una especificación de nuestro producto o servicio, entendiendo por unidad de medida a una cantidad definida de cualquier característica de la calidad, que nos permita la evaluación de esa característica con números.

El presente estudio establece la necesidad de de crear un indicador para evaluar las exigencias establecidas en la Norma técnica de Calidad del Servicio Eléctrico en materia de las armónicas y proponer algunos límites.

Se analizó la situación de ACEROS AREQUIPA, así como las concesionarias ELECTRO PERÚ ELECTRO SURMEDIO, EDECAÑETE y EDELNOR respecto de las posibles penalizaciones que podrían ser aplicadas por el OSINERG, en caso de superarse los niveles fijados en la Norma, dado que de existir penalidades a la Distribuidora, las mismas deberán trasladarse a los usuarios responsables hasta tanto adecuen sus instalaciones.

Para el fin se consideró necesario efectuar una evaluación del estado de las redes en cuanto al contenido de armónicos existentes, como el grado de cumplimiento esperable de la normativa.

Resumiremos los principales resultados obtenidos de una compañía de medición efectuada en febrero del 2000 el cual fue efectuada en coordinación con ELECTRO PERÚ, Aceros Arequipas y la colaboración de ELECTROSURMEDIO Y EDECAÑETE. Así también resumiremos lo Analizado por EDELNOR en el 2000.

Por último realizaremos un análisis de las mediciones por parte de las concesionarias que cumplen con la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

Efectuaremos una serie de observaciones, conclusiones y propondremos los límites sobre las características de este fenómeno que creo deben ser tomados en cuenta por el comité de análisis de perturbaciones que próximamente se formara y que tiene por cargo revisar la normativa existente y de ser el caso proponer su modificación.

5.2 Concepto de Armónicos

Este tipo de perturbación afecta a la forma de la onda del sistema trifásico de tensiones. Los causantes fundamentales de esta alteración de la onda son los receptores con una característica “intensidad/tensión” no lineal.

Como ya se ha señalado, para que las emisiones de estos receptores no superen el límite a partir del cual pueden afectar a otros receptores de la red, las empresas eléctricas procuran que su conexión se haga en el punto más adecuado. No obstante, es necesario también que los receptores que generan estas Perturbaciones estén equipados con dispositivos correctores, como los que se indican a continuación, para minimizar la emisión de las mismas.

5.3 Causas que la Originan

Se puede considerar que, en su mayor parte, los equipos y elementos que componen los sistemas de distribución de energía eléctrica son lineales. En otras palabras, que su característica de intensidad/tensión se mantenga constante.

No obstante, hay algunos equipos que tienen características no lineales, es decir, cuya intensidad demandada no es sinusoidal pura y sí, por tanto, una onda deformada.

Estos equipos emiten armónicos a la red general de alimentación eléctrica en el punto de conexión común (PCC).

Las principales fuentes de intensidades armónicas son:

• **Receptores de uso industrial.**

Entre ellos cabe destacar:

—Los rectificadores. Son los equipos mediante los cuales se efectúa el proceso básico de conversión de la energía eléctrica, de corriente alterna a corriente continua. El orden de las intensidades armónicas características que produce un rectificador viene dado por la expresión:

$$n = p \cdot m \pm 1 \quad \dots(5.1)$$

En esta expresión, n es el orden del armónico, p es el número de pulsos del rectificador (6 ó 12) y m , un número entero (1, 2, 3,...).

Así pues, los armónicos característicos generados por un rectificador de 6 pulsos serán de orden 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25,..., mientras que los originados por un rectificador de doce pulsos serán de orden 11, 13, 23, 25,...

—Los hornos de inducción y los hornos de arco. Las alteraciones de la onda de tensión más características de estos receptores son, además de la distorsión las fluctuaciones de tensión que, en general, producen “Flicker”.

• **Receptores de uso doméstico.**

No poseen una potencia unitaria elevada, pero son en conjunto una importante fuente de armónicos, ya que gran número de ellos suelen ser utilizados simultáneamente durante largos períodos de tiempo. Destacan:

—Los receptores de televisión.

- Los aparatos controlados mediante elementos electrónicos (electrodomésticos, reguladores de luminosidad, etc.).
- Las lámparas fluorescentes.
- Las lámparas de descarga de vapor de sodio.

• **Elementos de instalaciones eléctricas.**

Se pueden citar:

- Los equipos de producción, transporte y distribución de energía eléctrica. Son generadores de armónicos en pequeñas proporciones.
- Los dispositivos electrónicos de control y mando que regulan la intensidad absorbida. Estos aparatos interrumpen el paso de ésta en ciertos momentos, produciendo componentes armónicas en el sistema de alimentación.
- Los equipos que poseen núcleos magnéticos. Cuando funcionan en condiciones de saturación, originan armónicos de tensión.

Se encuentran, entre ellos, los transformadores de potencia, que sufren situaciones de saturación cuando las tensiones que se aplican son superiores a la nominal. Producen entonces armónicos de tensión que, en su mayor parte, son de orden impar. Cabe subrayar que los armónicos de tensión de una red pueden verse amplificados, incluso en puntos alejados de la carga perturbadora que los origina, si se dan condiciones de resonancia.

Estas pueden aparecer en un punto determinado de la red, cuando son conectados en los condensadores para la corrección del factor de potencia.

5.4 Efectos que Produce

La magnitud de los problemas que causan las tensiones armónicas en los equipos instalados en un determinado entorno electromagnético depende del valor de las tasas de las componentes armónicas. Es decir, del grado de deformación de la onda y de la sensibilidad de dichos equipos a este tipo de

alteraciones. En cualquier caso, la incidencia de la distorsión armónica generada por un receptor perturbador será menor cuanto mayor sea la potencia de cortocircuito en el PCC. Entre los equipos sensibles a los efectos de este tipo de perturbaciones, se encuentran:

- Los condensadores. Registran pérdidas adicionales y calentamientos capaces de ocasionar un importante deterioro.
- Los fusibles de protección. Pueden sufrir asimismo procesos de calentamiento o, incluso, fusión en situaciones de intensidad normal.
- Los cables. Los armónicos de alta frecuencia dan lugar a fallos en el aislamiento, gradientes de tensión elevados y efecto corona.
- Los balastos inductivos que se utilizan en el alumbrado con lámparas fluorescentes o con lámparas de descarga. El circuito resonante formado por la inductancia de los mismos y por la capacidad instalada en el sistema de alumbrado ocasiona una amplificación de armónicos que produce, a su vez, un aumento de calor capaz de causar fallos prematuros en estos dispositivos.
- Los relés de protección. En ocasiones, pueden actuar de manera intempestiva –es decir, sin que exista falta– como consecuencia del valor de cresta de la onda resultante o de su desfase respecto del paso por cero.
- Los equipos que están diseñados para utilizar la onda de tensión de la forma más pura posible. Tal es el caso de los que se emplean en sistemas de comunicaciones, manipulación de datos, control de procesos electrónicos, etc. Sus correspondientes fuentes de alimentación eléctrica están proyectadas de manera que no den lugar a la generación de armónicos hasta un determinado nivel. No obstante, si éste es superado, se pueden producir pérdidas de datos o aparición de datos erróneos en los ordenadores, operaciones fuera de secuencia en máquinas herramienta o robots controlados por ordenador, etc.
- Los equipos de medida de inducción. La presencia de armónicos en la red produce en ellos pequeños errores de lectura, ya que suelen estar calibrados para una onda sinusoidal pura.

- Los sistemas de transmisión de señales por la red. Pueden verse afectados cuando existen componentes armónicas cuya frecuencia es parecida a la de la corriente portadora.
- Las redes eléctricas. Los armónicos incrementan sus pérdidas por calentamiento, especialmente en conductores neutros de baja tensión, transformadores y motores, degradando los aislamientos y acortando su vida útil.

5.5 Estudio de las Armónicas en el Sistema Interconectado Cerca de la Planta de Aceros Arequipa.

Dentro del Marco de la norma de calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), en febrero del 2000 se realizaron mediciones simultáneas de armónicos en diversos puntos de la red eléctricamente cercanos al punto de suministro a la planta N° 2 de la Corporación Aceros Arequipa, dichas mediciones fueron coordinadas por Aceros Arequipa y efectuadas por Personal técnico de ELECTROPERU, con supervisión de OSINERG y participación de ELECTROSURMEDIO y EDECAÑETE en los puntos medidos en sus redes.

El objetivo de tales mediciones fue analizar la influencia de la perturbación en lo referente a los armónicos en los diferentes puntos de la red en el punto de conexión en alta tensión como en los puntos de baja tensión a fin de determinar la influencia de la carga de los hornos eléctricos de Aceros Arequipa en su planta 1 de Pisco y sobre esta base proponer modificaciones a la Norma a fin de que sea más compatible con nuestra realidad.

5.5.1 Programación de las Mediciones

De acuerdo a las coordinaciones previas y la disponibilidad de equipos se instalaron medidores en los siguientes puntos:

1. C167 Suministro a Aceros Arequipa en 220 KV SE Independencia.
2. C170 salida en 60 KV a PISCO en la SE INDEPENDENCIA.

3. C181 salida en 10 KV SE Independencia.
4. C187 llegada en 60KV en CAÑETE.
5. C191 salida 60 KV en SE ICA.
6. C200 salida 10 KV en SE ICA.
7. C208 salida 60 KV SE MARCONA. (*)
8. P001 salida en baja tensión 220 V en SE de distribución en CAÑETE.
9. P002 salida en baja tensión 220 V en SE de distribución en PISCO.
10. P003 salida en baja tensión 220 V en SE de distribución en ICA.
11. P004 salida en baja tensión 220V en SE de distribución NAZCA. (*)

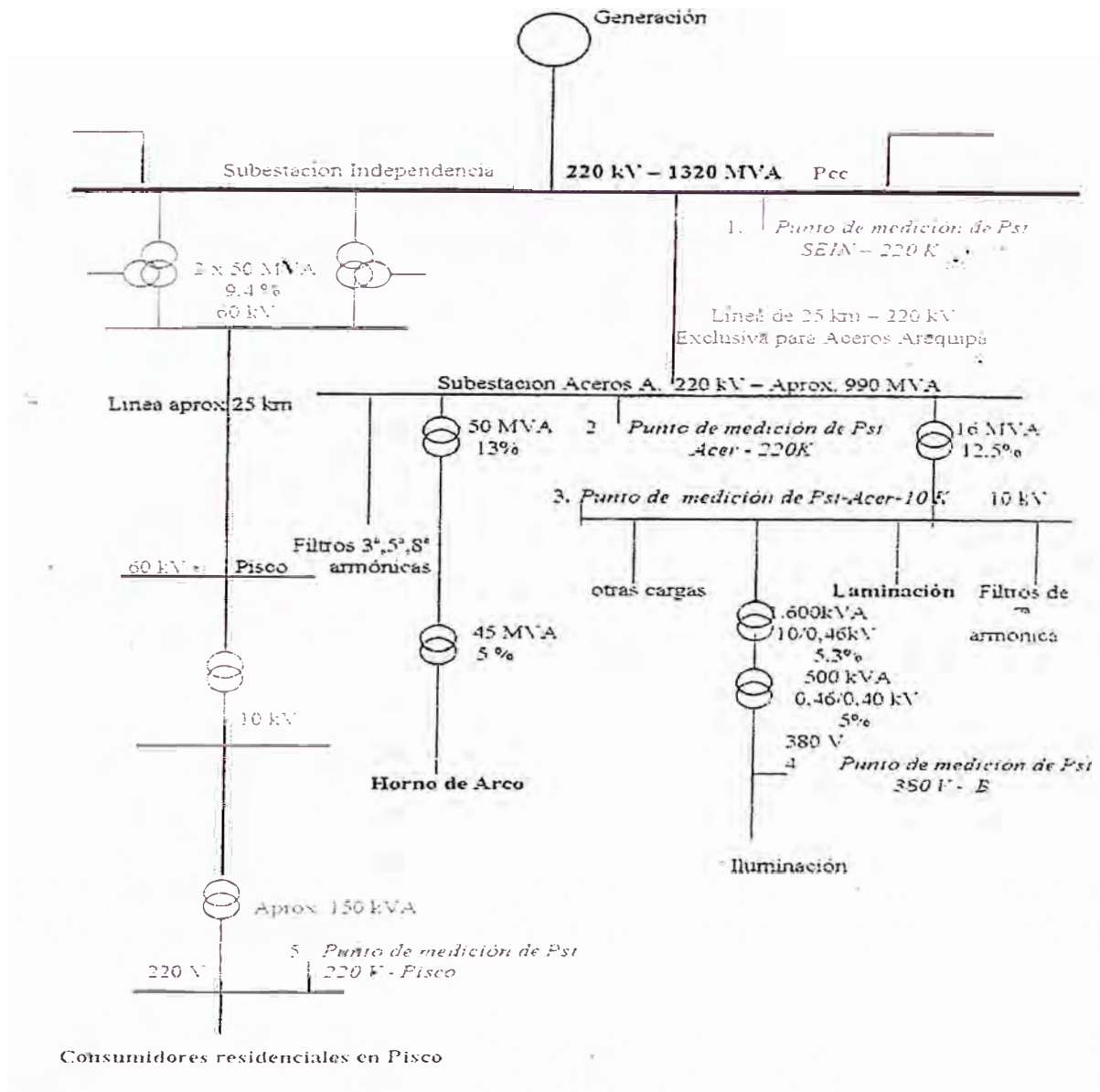


Figura 5.1 Diagrama Unifilar de la red de suministro a Aceros Arequipa. Referencia N° 3 de la bibliografía.

5.5.2 Análisis y Resultados de las Mediciones de Armónicas.

En primer lugar es conveniente resaltar los niveles de distorsión de la onda de tensión se mantienen igual o aumentan a medida que se alejan del punto de conexión en la alta tensión. Por otro lado, las distorsiones causadas por cargas de baja tensión se atenúan a medida que se aproximan de los puntos de alta tensión. Por estos motivos, los porcentajes de distorsión suelen ser superiores en los puntos de baja tensión.

De acuerdo con las mediciones realizadas en las barras de 220 kV de Independencia y Aceros Arequipa, la situación actual parece ser la siguiente (a pesar que nuevas mediciones tendrían que ser realizadas para confirmación, porque durante el período de medición fue dada prioridad a las mediciones de flicker):

- Dentro de las hojas de los registros de armónicas de tensión se ha realizado los cálculos de la distorsión total por armónicas de tensión (VTHD%) para cada fase utilizando las fórmulas indicadas en la NTCSE, para los puntos de medición seleccionados se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$V_{THD}\% = \left(\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i^2) / V_n^2} \right) \times 100\% \dots 5.1$$

Donde:

V_i = Es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica “i” (para $i=2\dots40$) expresada en voltios.

V_n = Es la tensión nominal del punto de medición en voltios.

- Existe un nivel de distorsión de tensión que llega a aprox. THD = 3% en la barra de Aceros y a THD = 2,5% en la barra de Independencia.
- La armónica con mayor participación es la 5ª.

- Las corrientes armónicas no provienen de Aceros Arequipa. El efecto de los hornos y de la laminación sobre el THD es del orden de 0,1 a 0,4 %.
- Los máximos niveles de armónicas ocurren entre las 06.00 hrs y las 08.00 hrs.

TABLA 5.1 CUADRO RESUMEN DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN

PUNTO	TENSIÓN VOLTIOS	VTHD (%)		
		MÁXIMO	PROMEDIO	MÍNIMO
TOTALIZADOR ACEROS AREQUIPA	220000	2,80	2,10	1,70
HORNO DE ARCO N°01	20000	3,10	1,30	0,70
PLANTA DE LAMINACIÓN	10000	3,40	2,80	2,60
TRANSFORMADOR TR1	220000	2,60	2,40	2,10
TRANSFORMADOR TR2	220000	2,40	2,30	2,20
CIUDAD DE PISCO	220	4,10	3,10	1,90

TOTALIZADOR:

Para el circuito totalizador que incluye el alimentador a PRAXAIR, el cálculo de los indicadores de calidad referido a las tolerancias de las armónicas de tensión de ha realizado comparando cada una de las armónicas (2 a 40) y la distorsión total con los valores permisibles por la Norma. Como se puede apreciar, en ningún caso se ha superado los límites permisibles por la norma (3%) para la distorsión total de tensión VTHD% y las armónicas individuales.

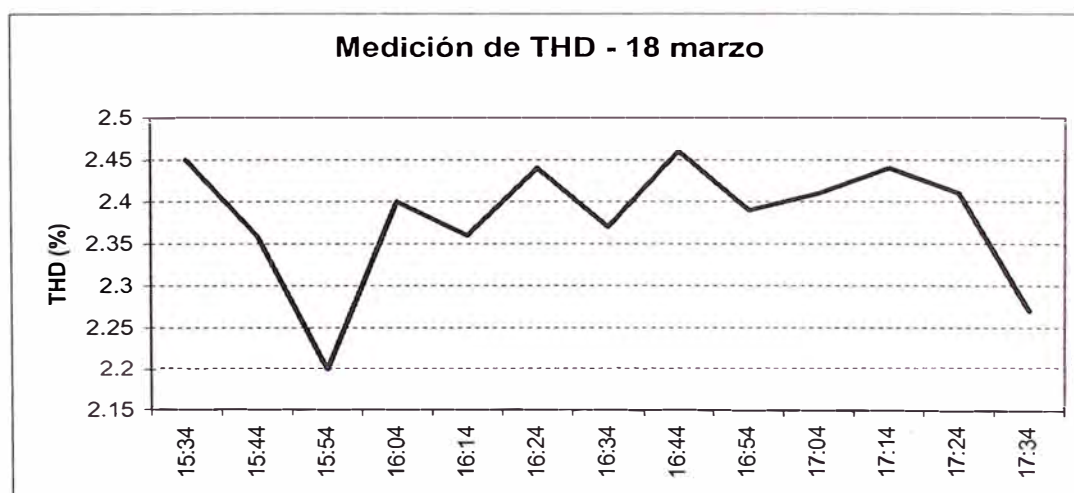


Figura 5.2 Registros de armónicos de tensión (%THD) en el Transformador TR2 220/10 kV.

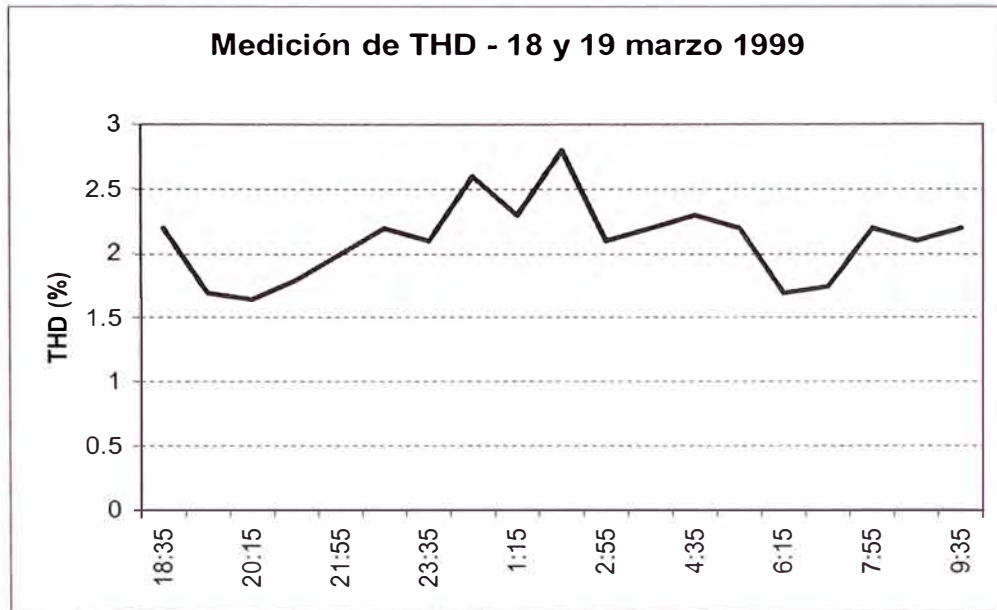


Figura 5.3 Registros de armónicos de tensión (%THD) en el Totalizador de Aceros Arequipa 220kV.

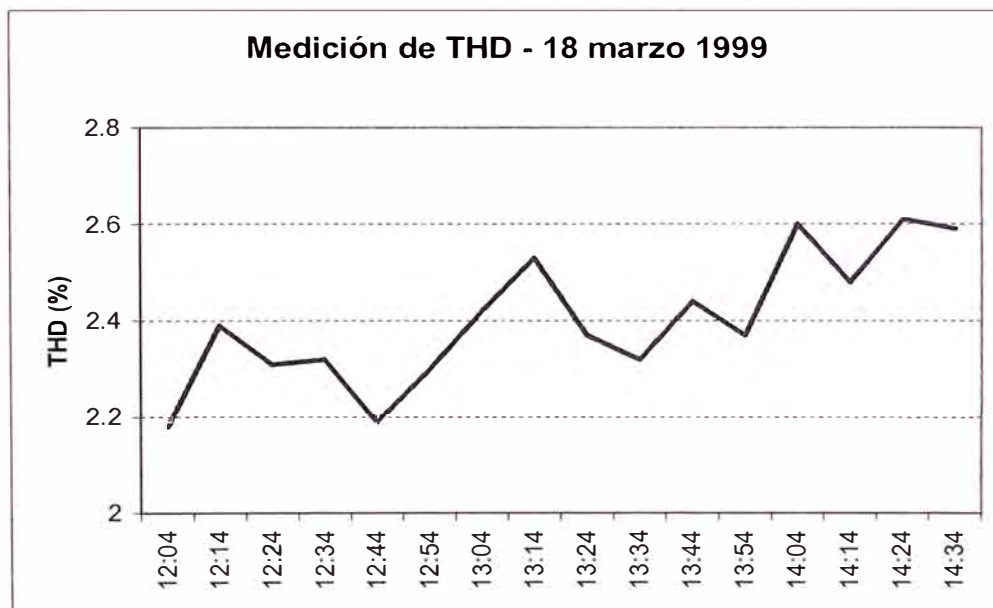


Figura 5.4 Registros de armónicos de tensión (%THD) en el Transformador TR1 220/10 kV.

5.5.3 Comentarios sobre la carga de Aceros Arequipa y las armónicas.

Hace unos años, a los hornos eléctricos de arco se los culpaba de generar altos porcentajes de armónicas. El motivo era que en esa época era común seleccionar para estudio algunos semiciclos que sufrían los mayores

niveles de deformación y después de realizar una descomposición de la forma de onda se llegaba a la conclusión que existía, por ejemplo, una distorsión de 30%. En realidad, lo que prueban las mediciones realizadas con los analizadores de armónicas actuales, es que esas deformaciones correspondían a apenas unos pocos semiciclos y que el promedio de las armónicas generadas por los hornos de arco es, en general, relativamente bajo. Diversas mediciones, como la realizada en Aceros Arequipa prueban esto.

Como en los alimentadores de hornos de arco se instalan bancos de capacitores, existe la posibilidad que ocurran resonancias paralelo en el circuito LC formado por los bancos en paralelo con la inductancia del sistema de alimentación. Estos circuitos LC pueden presentar una impedancia infinita a las corrientes armónicas y provocar una amplificación de las corrientes armónicas y de las tensiones. Cuando esto ocurre, las corrientes y las distorsiones armónicas provocadas por los hornos llegan a valores superiores a los recomendados, normalmente provocando, en primer lugar, una sobrecarga en los propios bancos de capacitores. Este tipo de problema tiene soluciones bastante simples, siendo posible instalar un filtro de armónicas, modificar los valores de capacitancia o colocar un reactor para desplazar la frecuencia de resonancia. En el caso de Aceros Arequipa, existen, en la barra de 20 kV del horno, filtros de 3^a, 5^a y 8^a armónicas. El primero está siempre conectado, el segundo a veces y el de octava armónica está desconectado.

Una carga que normalmente provoca armónicas en forma consistente es la de los convertidores de corriente continua que, cuando son de 6 pulsos, generan quinta armónica. En estos casos, los porcentajes de las corrientes armónicas son bastante elevados - del orden de 5 a 10%. Sin embargo, en el caso de Aceros Arequipa, la potencia de los convertidores de la laminación es muy baja, del orden de 2 MW y, por ese motivo, aún sin filtros, no sería posible que provocasen altas distorsiones en una barra con

1300 MVA de potencia de corto circuito. El sistema de alimentación de la laminación posee un filtro de 7^a armónica.

Por los motivos anteriores y por los resultados de las mediciones preliminares consideramos que es mínima la probabilidad que las cargas de Aceros Arequipa estén causando altos niveles de distorsión de la onda de tensión.

5.5.4 Conclusiones.

- En relación a las armónicas, Aceros Arequipa es aparentemente víctima, porque absorbe una buena porción de armónicas generadas en otro punto del circuito e inclusive, tiene sus niveles de distorsión amplificados en relación a Independencia cuando los filtros de 5^a armónica de Aceros Arequipa están conectados, el porcentaje de corriente armónica que circula por los transformadores y bancos de capacitores de esta planta debe aumentar.
- De los resultados obtenidos de los indicadores de calidad en el totalizador de Aceros Arequipa, se observa que el indicador de armónicos de tensión no supera la tolerancia indicada en la NTCSE de 3%.

5.6 Estudio de las Armónicas en la Zona de Concesión EDELNOR 1999.

5.6.1 Campañas de Medición.

Se desarrollan dos campañas de medición denominadas A Y B orientadas a la determinación del estado de perturbaciones de la red en base a Norma técnica de calidad.

La campaña de medición denominada como “A” se la distribuyo en toda la red, con el propósito de asegurar una muestra representativa del estado de situación de las instalaciones en baja Tensión. Mientras que la campaña de medición denominada como “B” fue diseñada contemplando las consideraciones efectuadas por EDELNOR acerca de las zonas en donde se concentrarían los usuarios más perturbadores.

Complementariamente se previó la utilización de la información proveniente de las campañas de control de producto técnico llevadas a cabo por la Distribuidora, denominándose la campaña C.

La distribución envió 6 mediciones realizadas en Baja Tensión con los equipos RPM las cuales no formaban parte de la muestra originalmente establecida. Razón por lo cual no se han tenido en cuenta en el análisis realizado sumado al hecho de haberse realizado en un nivel de tensión diferente. Sin embargo las mismas fueron procesadas no evidenciándose diferencias importantes respecto al resto de las mediciones.

5.6.2 Campaña A: Armónicas en subestaciones de distribución (sed).

El objeto de esta campaña de medición fue obtener una muestra representativa del nivel de perturbaciones en las barras de salida de BT de las subestaciones de distribución (SED).

Para tal fin, se utilizo el analizador ”Fluke 41 B” conectado a un Lap Top para medir y registrar en forma simultanea el contenido Armónico de tensión y de corriente para una de las fases. Con respecto a la medición de corriente se seleccionó la total del transformador o una salida representativa según fuese posible de acuerdo a la configuración existente.

Cada medición está compuesta aproximadamente por unos 100 registros, tomados cada 18 segundos, de las componentes armónicas individuales y

de la Tasa de Distorsión Total (THD). Una vez finalizada la medición se lo ha exportado a un archivo con formato CSV compatible con Excel, para su posterior procesamiento estadístico.

La campaña se diseñó considerando realizar 40 mediciones por Sucursal, seleccionando un SED por cada distribuidor de MT. Sobre la base de la conformación de las redes, la disponibilidad de equipos de medición, los plazos fijados para realizar la campaña de medición como de las exigencias consideradas para asegurar una adecuada representación estadística.

Si bien se había considerado inicialmente un total de 160 mediciones entre las 4 Sucursales, solo fue posible disponer de 120 mediciones, las cuales se detallan en la Tabla N° 5.2, distribuidas según se indican en el gráfico siguiente:

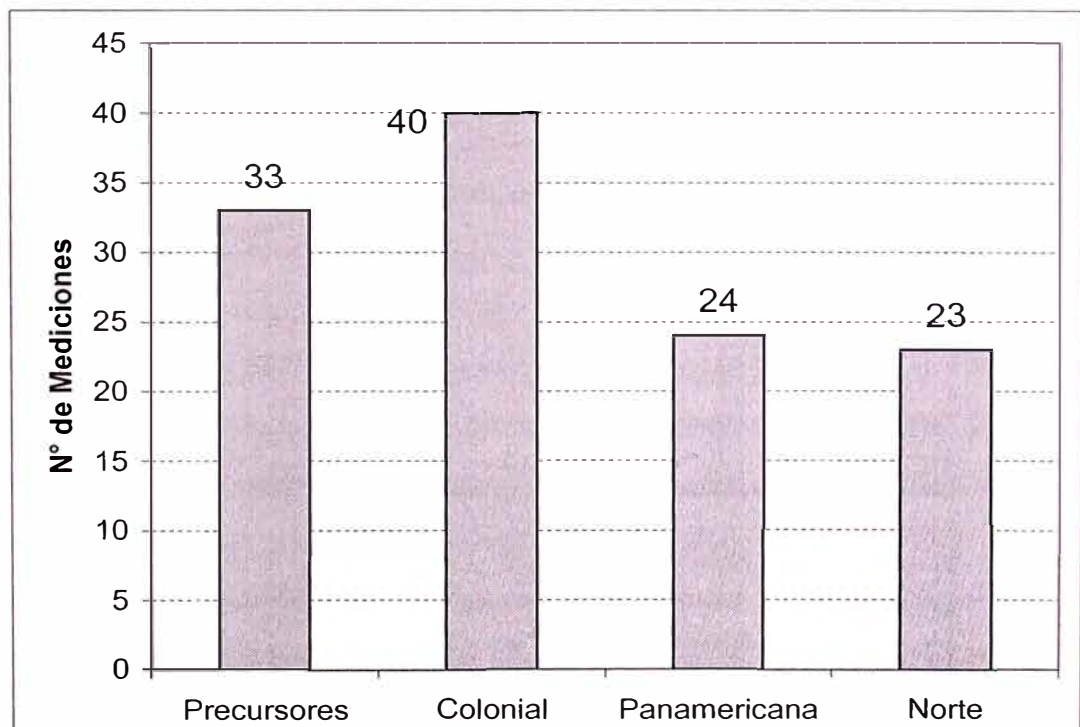


Figura 5.5 Mediciones realizada por cada Sucursal.

TABLA 5.2 CUADRO DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

PRECURSORES	COLONIAL	PANAMERICANA	NORTE
00118S-1	00001S-1	00598S-1 (**)	00052A-1
00119S-1	00003S-1	00726S-1	20050A-1
00125S-1	00008S-1	00921S-1	1566841
00217S-1	00015S-1	01075S-1	1566864M(*)
00260S-1	00138S-1	01106S-1	1566873
00298S-1	00144S-1	01134S-1	1566883M(*)
00332S-1	00173S-1	01236S-1	20151A-1
00344S-1	00182S-1	01529S-1	20221A-1
00355S-1	00207S-1	01568S-1	20956A-1
00416S-1	00211S-1	01569S-1(**)	20959A-1
00428S-2	00239S-1	01704S-1	20960A-1
00486S-1	00253S-1	01740S-1	20972A-1
00494S-1	00287S-1	01741S-1 (**)	20982A-1
00524S-1	00294S-1	01912S-1	21044A-1
00526S-1	00311S-1	01940S-1 (**)	21080A-1
00527S-1	00345S-1	02153A-1;2;3 (**)	21208A-1
00576S-1	00358S-1	02371A-1	21211A-1
00651S-1	00358S-2	02378A-1	21255A-1
00658S-1	00365S-1	03254A-1	22107A-1
00719S-1	00372S-1	03618A-1 (**)	22108A-1
00856S-1	00408S-1	03671A-1	22118A-1
00861S-1	00408S-2	04240A-1;2 (**)	POLAR1-1(*)
01511S-1	00483S-1	08482C-1 (**)	SUPEMSA1(*)
02008A-1	00521S-1	08687C-1	
07166C-1	00571S-1		
07717C-1	00572S-1		
08493C-1	00573S-1		
08734C-1	00574S-1		
08736C-1	00699S-1		
08737C-1	00813S-1		
08738C-1	00832S-1		
08739C-1	00835S-1		
08755C-1	00947S-1		
	01063S-1		
	01351S-1		
	01367S-1		
	01422S-1		
	01476S-1		
	01871S-1		
	02409A-1		
33	40	24	23

(*) Mediciones efectuadas en secundarios de transformadores de medición de clientes de MT.

(**) Mediciones de menor duración que la estipula

5.6.3 Campaña B: Armónicas en Grandes Clientes.

El objeto de esta campaña fue obtener una muestra representativa de perturbaciones en puntos de suministro a Grandes Clientes.

Se midieron Armónicas, con los instrumentos RPM disponibles por EDELNOR sobre los alimentos trifásicos a Grandes Clientes, de acuerdo a disponibilidad de transformadores de medición existentes. La selección de los puntos a medir se efectuó a partir de la base de datos de clientes industriales, de acuerdo al tipo de carga presuntamente perturbadora y modalidad de consumo.

De este modo, se confecciono una lista de puntos de interés para medir tomando en consideración además su accesibilidad, facilidades de la instalación, disponibilidad de transformadores de medición existentes, etc. Al finalizar la campaña de medición se pudo disponer de 38 mediciones válidas.

5.6.4 Procesamiento Realizado.

Campaña A.

De las 120 mediciones disponibles (Tabla 5.2) se consideraron válidas todas las realizadas en BT que constaran de al menos 30 registros tomados cada 18 s. Con esta restricción resultaron 113 mediciones válidas.

Para cada punto de medición se determinaron los valores P95 que no han sido superados durante el 95% del tiempo de medición tanto para el THD como para cada armónica.

Luego, para cada componente, se obtuvo el valor con una probabilidad de no ser superado en el 95% de los puntos analizados. El resultado de dicho procesamiento, se presenta en la tabla N° 3. En la cual:

- Referencia corresponde a los niveles máximos establecidos en la norma
- Máximo corresponde al máximo de los valores P95i
- Medio corresponde al promedio de los valores P95i
- P95 corresponde al valor que no ha sido superado por el 95% de los P95i
- P95/Ref (%) corresponde al valor porcentual del P95 hallado para cada componente, respecto al correspondiente nivel de referencia.

Sólo se incluyen las componentes armónicas de mayor peso respecto a los niveles máximos establecidos en la normativa de ese entonces vigente.

TABLA N° 5.2 RESULTADOS DE LAS ARMÓNICAS EN SED EDELNOR

	THD	2 ^º	3 ^º	4 ^º	5 ^º	6 ^º	7 ^º	8 ^º	9 ^º	10 ^º	11 ^º	12 ^º	13 ^º	15 ^º	17 ^º	19 ^º	21 ^º	23 ^º	25 ^º	27 ^º	29 ^º	31 ^º
Máximo	4.32	2.08	2.23	0.20	3.75	0.18	1.96	0.18	0.78	0.08	0.30	0.08	0.59	0.33	0.38	0.28	0.23	0.26	0.24	0.27	0.20	0.23
Medio	2.00	0.13	0.35	0.07	1.63	0.07	0.87	0.04	0.10	0.03	0.23	0.03	0.16	0.06	0.11	0.08	0.05	0.07	0.06	0.04	0.05	0.04
P95	3.11	0.15	0.66	0.12	2.83	0.14	1.61	0.07	0.21	0.05	0.43	0.04	0.40	0.10	0.26	0.19	0.10	0.15	0.14	0.07	0.10	0.09
Referencia	8.00	2.00	5.00	1.00	6.00	0.50	5.00	0.50	1.50	0.50	3.50	0.20	3.00	0.30	2.00	1.50	0.20	1.50	1.50	0.29	0.29	0.28
P95/Ref[%]	38.80	7.70	13.20	12.10	48.10	28.70	32.20	13.50	14.30	10.70	12.40	20.20	13.20	34.60	12.90	12.60	52.10	10.10	9.40	23.30	35.00	33.10

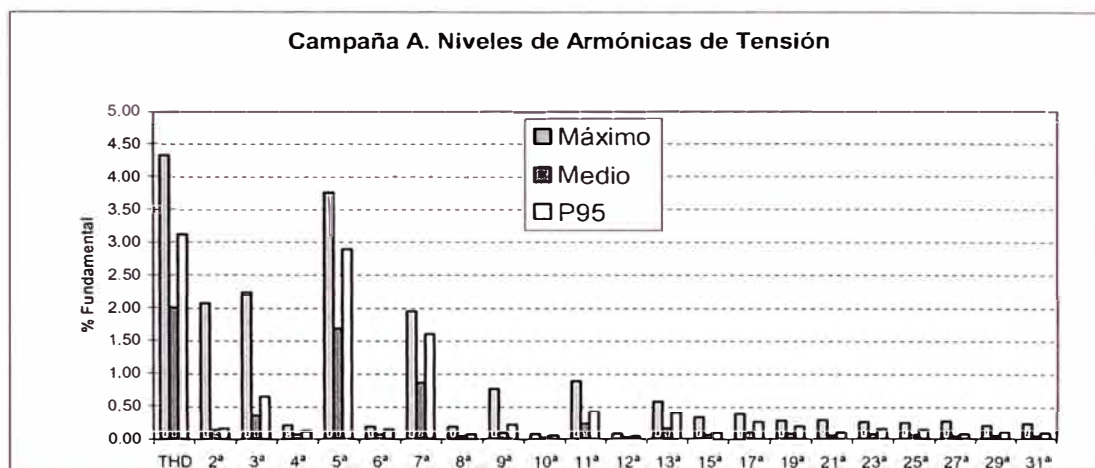


Figura 5.6 Resultados de las mediciones de armónicas en la SED EDELNOR

Campaña B.

Cada medición consta de uno o dos días de medición, registrando la distorsión total y de componentes individuales de la tensión y corriente, y el flicker, en intervalos de 10 minutos en cada una de las fases. Es decir cada medición consta de al menos 144 registros trifásicos.

Examinando cada registro individual de cada medición, se encontró que no fue superado ninguno de los límites establecidos para la THD y para las componentes individuales de distorsión armónica de la tensión.

Para cada punto de medición se determinaron los valores con una probabilidad de no ser superados durante el 95% del tiempo de medición, tanto para la THD como para cada armónica.

Luego, para cada componente, se obtuvo el valor con una probabilidad de no ser superado en el 95% de los puntos analizados.

Referencia corresponde a los niveles máximos establecidos en la norma vigente.

Máximo corresponde al máximo de los valores P95

Medio corresponde al promedio de los valores P95

P95 corresponde al valor que no ha sido superado por el 95% de los P95

P95/Ref (%) corresponde al valor porcentual del P95 hallado para cada componente, respecto al correspondiente nivel de referencia.

Sólo se incluyen las componentes armónicas de mayor peso respecto nivel máximos establecidos.

TABLA N° 5.3 RESULTADOS DE LAS ARMÓNICAS DE TENSIÓN A GRANDES CLIENTES.

	THD	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	9ª	11ª	13ª	15ª	17ª	19ª	21ª	23ª	25ª	27ª	29ª	31ª	35ª
Máximo	2.41	0.05	0.32	0.02	2.13	0.01	1.03	0.20	0.02	0.09	0.01	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Medio	4.04	0.29	1.53	0.09	3.86	0.09	2.66	1.17	0.26	0.36	0.17	0.53	0.18	0.17	0.17	0.09	0.17	0.17	0.09	0.09
P95	3.43	0.26	0.52	0.09	3.25	0.08	1.51	0.35	0.15	0.23	0.08	0.20	0.10	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Referencia	8.00	2.00	5.00	1.00	6.00	0.50	5.00	1.50	3.50	3.00	0.30	2.00	1.50	0.20	1.50	1.50	0.29	0.29	0.28	0.27
P95/Ref[%]	29.40	13.00	10.30	8.64	54.10	16.90	30.20	10.20	10.10	7.63	25.10	10.00	6.65	6.42	5.84	5.81	4.36	4.54	4.59	4.75

En la figura 5.7 se representan los valores máximos y P95 para las componentes más significativas, tomando en cuenta sus correspondientes valores de referencia.

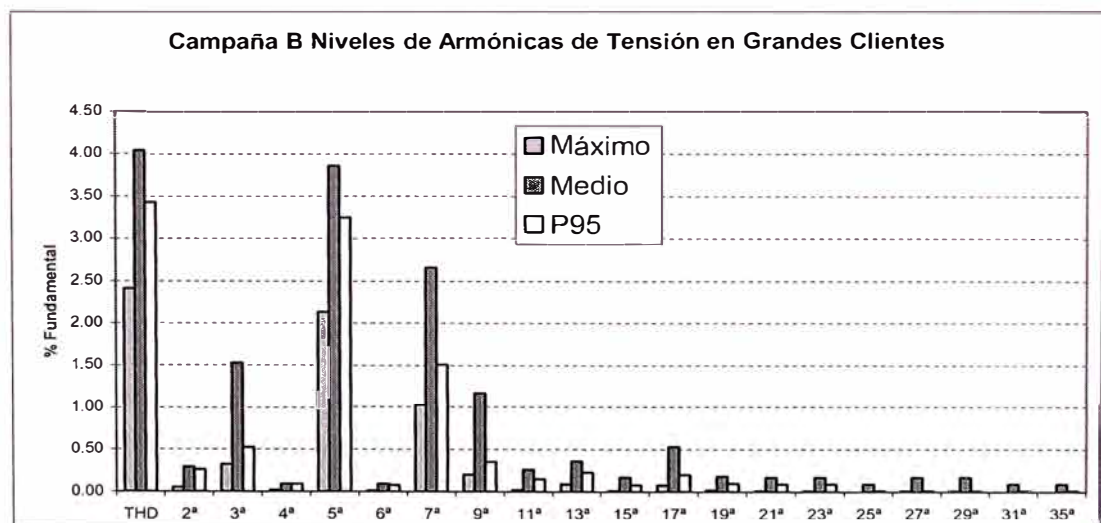


Figura 5.7 Resultados de las mediciones de armónicas en grandes clientes.

5.6.5 Análisis de los resultados.

Estado de situación frente a las normas.

En base a la información obtenida de las campañas de campo, se ha efectuado un análisis del grado de cumplimiento de la normativa vigente en Perú, tanto en lo que se refiere a Armónicas.

Armónicas.

Estado de situación frente a las normas la campaña A tuvo por objeto obtener información muestral de la situación en las barras de las subestaciones MT/BT, obteniéndose como resultado que el grado de cumplimiento de la norma es total. No se detectaron casos que transgredían los límites a partir de los cuales correspondería penalización

el tamaño de la muestra elegida, 40 centros sobre un total del orden de 2000 por sucursal de EDELNOR permite normalmente asegurar la calidad de todo el conjunto. Si además, se tiene en cuenta que el grado de perturbación encontrado es de orden del 50% del permitido, es posible inferir que sólo por excepción podría encontrarse algún centro penalizado en el total de centros de EDELNOR.

Da la campaña B, de las mediciones en MT en puntos de suministro a grandes clientes, no se detectaron transgresiones a los límites de la norma en ningún caso. En consideración al número importante de casos explorados y a que estos fueron seleccionados entre los puntos presuntamente más desfavorables del total de grandes clientes de EDELNOR es que puede inferirse que solo por excepción resultaría penalizado algún punto en la futura campaña prevista en la reglamentación vigente.

Así mismo el análisis de la información referente a perturbaciones obtenida a través de las mediciones de producto técnico realizadas por EDELNOR confirma estos resultados.

Análisis de la situación bajo normas internacionales.

Luego de la modificación que sufriera recientemente la norma peruana, los niveles admisibles en ella definidos coinciden con los internacionales IEC, que también han sido las adoptadas en la Argentina.

Definición de medidas de corrección.

En general las medidas de corrección de las perturbaciones por armónicas pueden efectuarse del lado red o del lado usuario perturbador. Se enumeran a continuación las posibles medidas a adoptar para cada caso.

Las medidas de mitigación para armónicas son:

- Localizar el/ los emisores que contaminan la red. Definir el orden y nivel de las armónicas de interés
- Inspeccionar la carga del usuario. Determinar si el origen es por armónicas características o no características.
- En el último caso proceder a la normalización de los equipos (o instalaciones) de la carga.
- Si las armónicas no pueden reducirse normalizando la carga, se deberían mitigar a través de:

Filtros: Del tipo derivados y resonantes en serie y sintonizados a las frecuencias de interés. Tratar de coordinar con equipos de corrección del factor de potencia, si fueran necesarios. Para este tipo de análisis se requiere la ejecución de estudios de flujo de armónicas.

Refuerzo de red: Bajar la impedancia de cortocircuito en la proporción inversa a la trasgresión detectada.

Reconfigurar redes a fin de segregar la carga perturbadora.

Para la situación de EDELNOR, en la actualidad y de acuerdo al resultado de las campañas de mediciones recientemente efectuadas, se considera que las acciones a seguir deberían ser:

Armónicas

No son necesarias medidas de corrección en aquel entonces.

Conclusiones

Del estudio surge que, al poder cumplir EDELNOR con la norma de perturbaciones en prácticamente todos los puntos de suministro de su red, no habrá un impacto económico sobre la industria en general.

Esto significa que la industria no requeriría de elementos de mitigación de su emisión de perturbaciones, ni de instalaciones excepcionales para resguardarse de ellas. Asimismo tampoco la industria se vería sujeta al traslado de las posibles penalidades que le fueran aplicables a EDELNOR, dado que esta última estaría dando cumplimiento a los niveles exigidos.

CAPÍTULO VI

MEDICIONES DE PERTURBACIONES DE ACUERDO A LA NORMA TECNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS EN EL PERÚ POR PARTE DE LAS EMPRESAS CONCESIONARIAS

6.1 Introducción

Este capítulo describe como las empresas concesionarias han ido desarrollando las mediciones de perturbaciones desde la promulgación de la NTCSE hasta la fecha, así como, los problemas obtenidos y la solución de estos.

Veremos las mediciones de flicker y tensiones armónicas para diferentes clientes tanto en Sub estaciones de distribución, como en clientes en media tensión, alta tensión y muy alta tensión.

En el presente capitulo se describirá los problemas presentados por parte de las concesionarias en las mediciones y la entrega de información

6.2 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos en el Perú.

De acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos aprobada por Decreto Supremo N° 020-97 EM publicado el 11/10/97. Artículo 5.3 y modificatorias D.S. N° 009-99-EM publicado el 11 de abril de 1999, D.S. N° 013-2000 publicado el 27 de julio de 2000 y D.S. N° 040-2001 publicado el 17 de julio de 2001, las empresas concesionarias están en la

obligación de hacer un número de mediciones de perturbaciones tanto en flicker como en tensiones armónicas.

6.2.1 Metodología de las mediciones.

- El periodo de medición es de 07 días continuos.
- El intervalo de medición es de 10 minutos.
- La frecuencia nominal es de 60 Hz.

Indicadores de calidad.

- **FLICKER:** Es el índice de Severidad por Flicker de corta de duración (Pst) definido de acuerdo a las Normas IEC.
- **ARMONICAS:** Las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas.

6.2.2 Tolerancias.

- **FLICKER:** El Pst no debe superar la unidad ($Pst < 1$) en Muy Alta, Alta, Media ni Baja Tensión.
- **ARMONICAS:** Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales y los THD expresado en porcentaje de la tensión nominal no deben superar los valores limite (V' y THD') indicados en la siguiente tabla.

TABLA N° 6.1. TOLERANCIAS POR ARMÓNICOS 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	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	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	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
(Pares)		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
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

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

$$THD = \left(\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) \cdot 100\% \quad \dots\dots(6.1)$$

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.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancias establecidas en este numeral, por un tiempo superior al 5% del Período de Medición. Cada tipo de perturbación se considera por separado.

6.2.3 Compensaciones por mala calidad de perturbaciones.

- **Por Flícker:**

Compensaciones por Flícker = $\sum_r c \cdot Cr \cdot E(r)$

Donde:

r .- Es un intervalo de medición en el que se violan las tolerancias por Flícker.

c .- Es la compensación unitaria por Flícker:

Primera Etapa: $c=0,00$

Segunda Etapa: $c=0,10$ US\$/kWh

Tercera Etapa: $c=1,10$ US\$/kWh

Cr .- Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud de la Distorsión Penalizable por Flícker DPF(r) calculado para el intervalo de medición “r” como:

$DPF(r) = Pst(r) - Pst'$

Si: $DPF(r) \geq 1$; $Cr = 1$

Si: $DPF(r) < 1$; $Cr = DPF(r) \cdot DPF(r)$

$E(r)$.- Es la energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición “r”.

- **Por Armónicas:**

Compensaciones por Armónicas = $\sum_s d \cdot Ds \cdot E(s)$

Donde:

s.- Es un intervalo de medición en el que se violan las tolerancias por armónicas.

d.- Es la compensación unitaria por armónicas:

Primera Etapa: $d=0,00$

Segunda Etapa: $d=0,10$ US\$/kWh

Tercera Etapa: $d=1,10$ US\$/kWh

D_s .- Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud de la Distorsión Penalizable por Armónicas DPA(s) calculado para el intervalo de medición “s” como:

$$DPA(s) = (THD(s)-THD')/THD'+(1/3)\sum$$

$$i=2...40 ((V_i(s)-V_i')/V_i').....(\text{Fórmula N}^\circ 12)$$

(Sólo se consideran los términos positivos de esta expresión).

$$\text{Si: } DPA(s) \geq 1; \quad D_s = 1$$

$$\text{Si: } DPA(s) < 1; \quad D_s = DPA(s) \cdot DPA(s)$$

$E(s)$.- Es la energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición “s”.

6.3 Mediciones de perturbaciones en los puntos de suministros de las Generadoras del Perú.

6.3.1 Punto de Medición EEPSA0008 tensión nominal 210 kV.

Cronograma de medición

El punto de medición correspondiente fue medido en mayo 2003 y está ubicado ubicado en la S.E.T. CHAVARRIA TR 01 a 210 kV de nivel de tensión.

Fecha de instalación del equipo: 06/05/03 12:20 horas.

Fecha de retiro del equipo: 15/05/03 09:42 horas.

Equipos utilizados.

Los equipos utilizados para la medición de parámetros de calidad de energía fueron:

TABLA N° 6.2. PARA PERTURBACIONES:

Marca	RPM
Modelo	1650
N° de Serie	10577

Ubicación de los puntos de medición.

En la figura adjunta se muestra la ubicación del punto de medición EEPSA0008

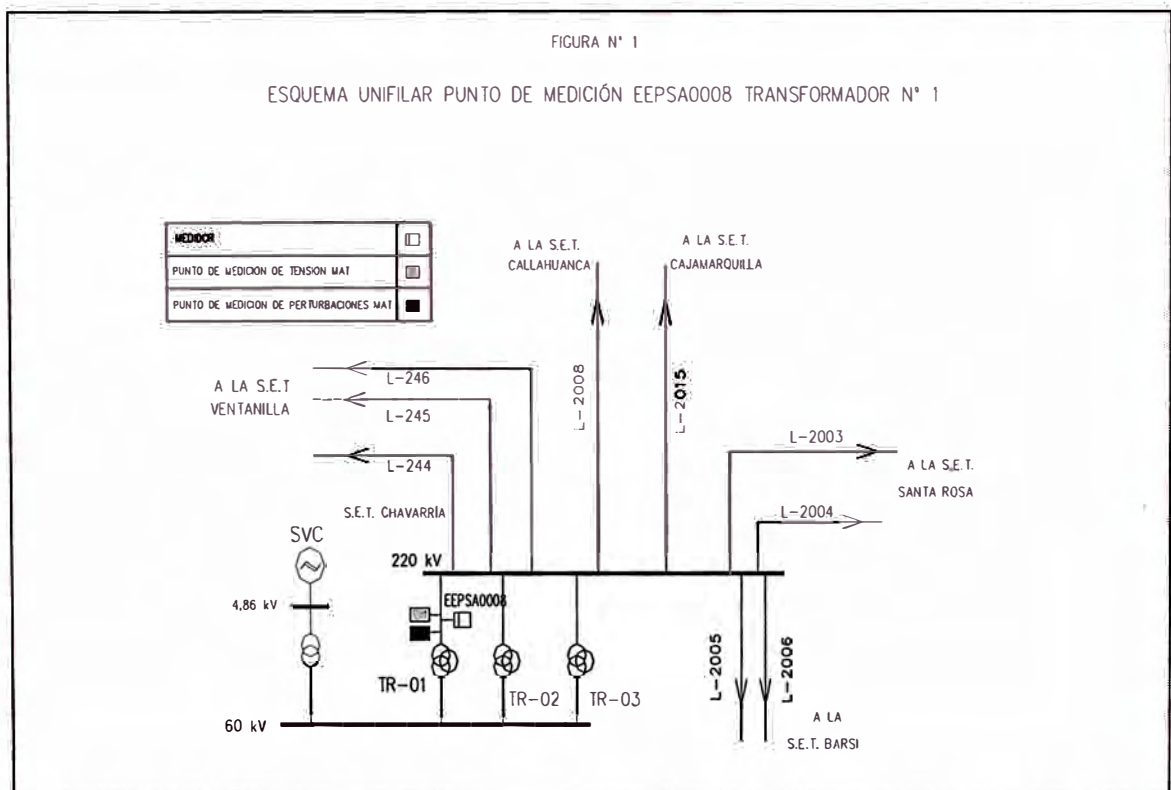


Figura 6.1 diagrama unifilar del punto de medición EEPSA0008

Resultados de las mediciones de perturbaciones.

TABLA N° 6.3. FLICKER:

Código de Suministro	EEPSA0008
Cliente	EDELNOR S.A.A.
Estado de la Medición	VALIDA
Compensación 2° etapa (US\$)	0,00
Compensación 3° etapa (US\$)	0,00
N° de intervalos registrados	1008
N° de intervalos en falta	1
% de intervalos en falta	0,1%
N° de intervalos con interrupción	0
% de intervalos con interrupción	0,0%
Horas de Interrupción	0,0
Fecha de Inicio	06/05/2003 12:43 horas
Fecha de fin de la medición	13/05/2003 12:33 horas

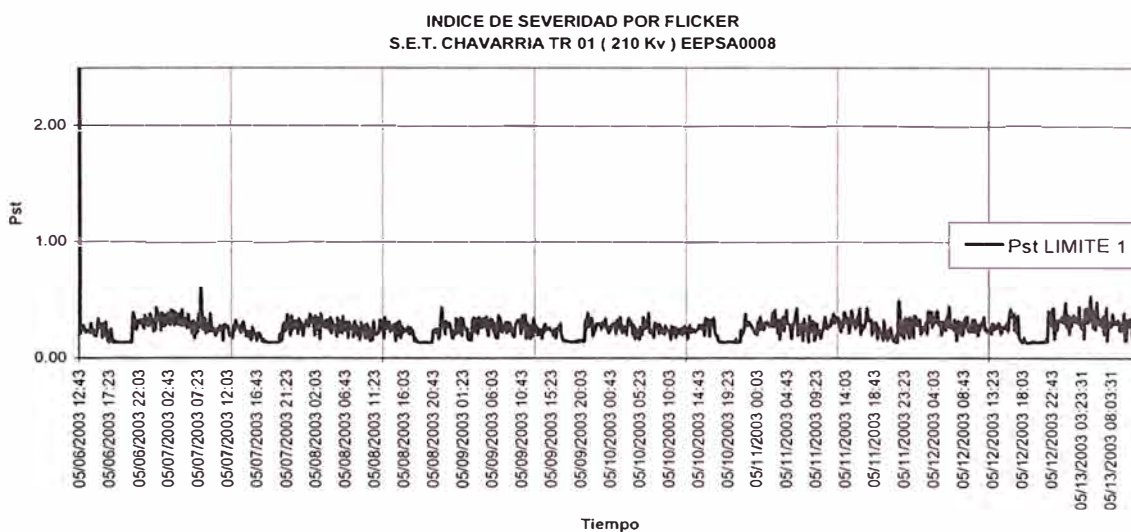


Figura 6.3. Medición de Flicker SET Chavarria

TABLA N° 6.4 EVALUACIÓN DE MEDICIONES DE TENSIONES ARMÓNICAS

Código de Suministro	EEPSA0008
Cliente	EDELNOR
Tensión nominal según la NTCSE	210 000 V
Estado de la medición	VALIDA
Compensación 3° etapa (US\$)	14 025,00
N° de intervalos registrados	1008
N° de intervalos en falta	423

% de intervalos en falta	41,96%
Fecha de inicio	06/05/2003 12:43 horas
Fecha de retiro	13/05/2003 12:33 horas
N° de intervalos con interrupciones	0
% de intervalos con interrupciones	0,00%
Horas de Interrupción	0,00

TABLA N° 6.5 INTERVALOS DE MALA CALIDAD

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0,00%	Ok
3	0	0,00%	Ok
4	0	0,00%	Ok
5	423	41,96%	En falta
6	0	0,00%	Ok
7	0	0,00%	Ok
8	0	0,00%	Ok
9	0	0,00%	Ok
:	0	0,00%	Ok
38	0	0,00%	Ok
39	0	0,00%	Ok
40	0	0,00%	Ok
THD	0	0,00%	Ok

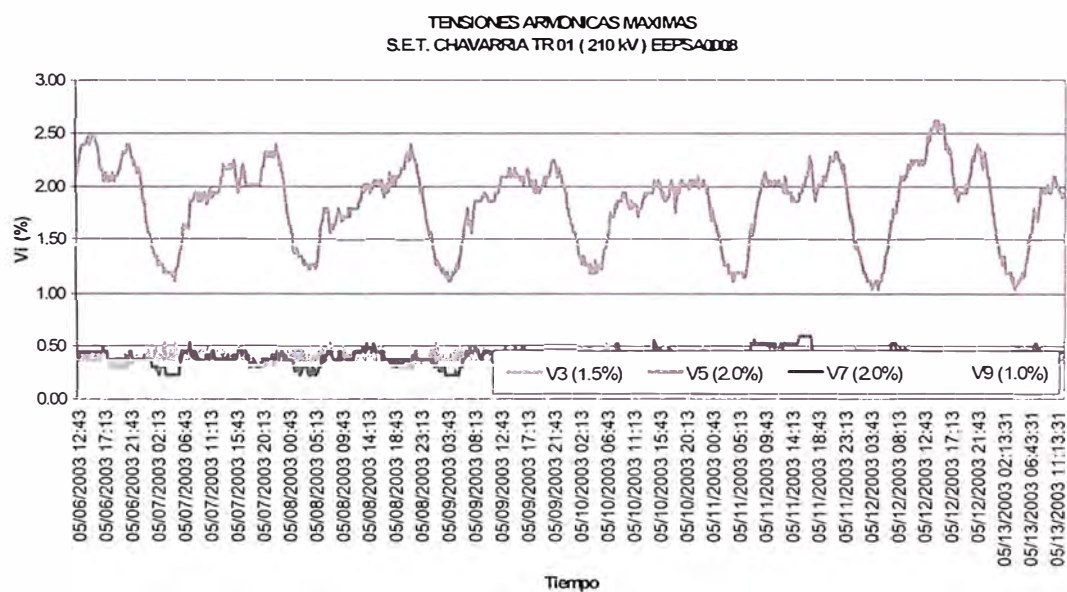


Figura 6.4. Gráfica de las tensiones armónicas

Cálculo de compensaciones.

- **Compensación Por Armónicas de Tensión**

De la medición efectuada se comprobó que el 41,96% de los intervalos registrados se encuentran fuera de los márgenes por presencia de la 5° armónica permitidos por la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (la NTCSE admite hasta sólo el 5% de los intervalos en falta).

La compensación económica por el incumplimiento de los límites máximos permitidos está valorada como sigue:

3ra etapa: US\$ 14 025 Mensual y correrán a cuenta de EEP SA si es que se comprueba que la empresa de distribución EDELNOR S.A.A. no está inyectando armónicas al sistema.

Los criterios y datos para el cálculo de la compensación por armónicas de tensión y THD utilizada en el presente informe son los siguientes:

- Para el análisis de las armónicas de tensión consideramos los primeros 1008 intervalos de medición sin tomar en cuenta los intervalos con interrupción.
- Se consideran las armónicas desde el orden dos (2) a la cuarenta (40) cada una de ellas expresada en porcentaje con respecto a la tensión nominal (220000 V).
- El factor de distorsión total por tensiones armónicas THD se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{THD} = \left(\sqrt{\sum_{i=2, \dots, 40} \frac{V_i^2}{V_n^2}} \right) * 100\% \dots\dots\dots (6.2)$$

- En la presente medición el cálculo del THD se obtuvo a partir de los valores medios de las tensiones armónicas de cada fase para cada intervalo de medición después de ello se realizó la comparación con las tolerancias establecidas en la NTCSE.
- Se considera intervalo en falta aquellas en las que las tensiones armónicas individuales o el THD superan lo establecido según la NTCSE mostrado en la siguiente tabla.

TABLA N° 6.6.

Armónica	AT y MAT	MT y BT
2	1,5	2,00
3	1,50	5,00
4	1,00	1,00
5	2,00	6,00
6	0,50	0,50
7	2,00	5,00
8	0,20	0,50
9	1,00	1,50
10	0,20	0,50
11	1,50	3,50
12	0,20	0,20
13	1,50	3,00
14	0,20	0,20
15	0,30	0,30
16	0,20	0,20
17	1,00	2,00
18	0,20	0,20
19	1,00	1,50
20	0,20	0,20
21	0,20	0,20
22	0,20	0,20
23	0,70	1,50
24	0,20	0,20
25	0,70	1,50
26	0,20	0,20
27	0,20	0,20
28	0,20	0,20
29	0,20	0,63
30	0,20	0,20
31	0,18	0,60
32	0,20	0,20
33	0,20	0,20
34	0,20	0,20
35	0,17	0,56
36	0,20	0,20
37	0,17	0,54
38	0,20	0,20
39	0,20	0,20
40	0,20	0,20
THD	3,00	8,00

- Existen compensaciones si el número total de intervalos en falta ya sea por tensiones armónicas individuales o por THD sea mayor al 5% de los intervalos totales.

- Distorsión por armónicas agrupadas en bandas de un punto porcentual.

TABLA N° 6.7.

BANDA	Armónicas – N° de intervalos en falla			
	A3	A5	A7	A9
0% - 1%	0	0	0	0
2% - 3%	0	423	0	0

- Índice de severidad por flicker agrupadas en bandas de 0,1 pu

TABLA N° 6.8 INDICE DE SEVERIDAD

BANDA	NUMERO DE INTERVALOS/ PERIODO
$10,8 < Pst < 10,9$	1

TABLA N° 6.9.REPORTES

Descripción	Armónica
Identificador	EEP0305EPSAB0
Código de Suministro	EEPSA0008
Armónica o THD que excede la tolerancia	V5
Energía Total	20 677 670,9
Energía mala calidad	9 625 755,000
$0\% < V_i \leq 1\%$	
$1\% < V_i \leq 2\%$	
$2\% < V_i \leq 3\%$	423
$3\% < V_i \leq 4\%$	

TABLA N° 6.10 Compensaciones

Descripción	
Identificador	EEPSA
Suministro Medido	EEPSA0008
Suministro a compensar	EEPSA0008
Total Energía con Flicker FT DPF > 1	21648,8903
Total Energía con Flicker FT DPF < 1	0
Compensación por Flicker	0
Total Energía, Armónicas DPA > 1	0
Total Energía, Armónicas DPA < 1	9625755
Compensación por Armónicas	14 025,00

6.3.2 Punto de Medición SET Chimbote 138 kV.

Cronograma de medición

La medición fue realizada en los bornes del contador de energía de código N-122 correspondiente a la salida de la L-109 en el nivel de 138 kV en la S.E Chimbote 1, teniendo como objetivo fundamental verificar los indicadores de tensión y perturbaciones de acuerdo con la NTCSE que se entrega al cliente Hidrandina para la sección de Clientes Libres. La tensión de 138 KV proviene de los auto-transformadores cuya característica se indica en las siguientes tablas No 2 y No 3.

Esta medición corresponde al programa para el mes de Mayo 2003.

Las mediciones fueron realizadas según el programa de medición correspondiente al mes de Mayo 2003, teniendo como punto de medición:

Suministro SUM008 ubicado en la S.E.T. Chimbote No 1 en el nivel de 138 kV en borneras del medidor N-122 de L-109.

El período de medición es el siguiente:

- Instalación del equipo registrador: 20/05/2003 12:30 hs
- Retiro del equipo registrador: 11/06/2003 13:52 hs

Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la medición de parámetros de calidad de energía fueron:

TABLA 6.11. PARA PERTURBACIONES:

Marca	RPM
Modelo	1650
Nº de Serie	10504

Ubicación de los puntos de medición

En la figura No 1 se muestra la ubicación del suministro SUM-008 en el nivel de 138 kV – S.E Chimbote. El Analizador de Redes RPM se conectó en la bornera tipo Entrelec del medidor N-122 correspondiente a la salida de la L-109. de Hidrandina hacia la S.E Chimbote Patio Norte.

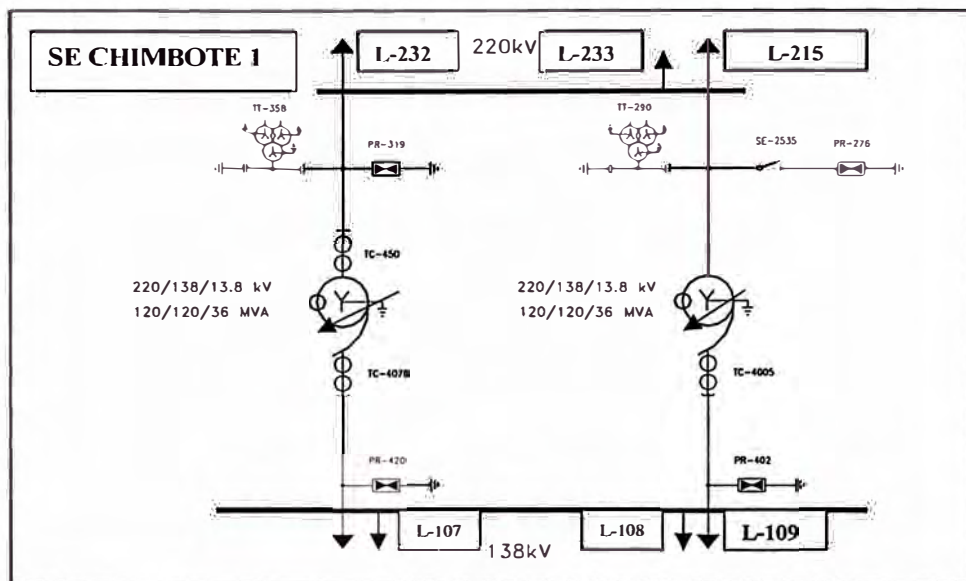


Figura 6.5 Ubicación de los puntos de medición

Resultados de las mediciones de perturbaciones

En la Figura No 3 se muestra el resultado de la medición de perturbaciones del suministro SUM008.-Barra de 138 kV SE Chimbote.

El indicador de calidad por Flicker resulta de mala calidad porque el índice de Severidad por Flicker de Corta duración de 241 intervalos de un total de 1008 presentan el umbral de irritabilidad mayor a uno ($Pst > 1$) asociado a la fluctuación máxima de luminancia, es decir, la cantidad de intervalos de mala calidad superan la tolerancia del 5 % de la cantidad total de los 1008 intervalos evaluados por lo cual corresponde calcular las Compensaciones por transgresión de las tolerancias de Índice de Severidad por Flicker.

El Decreto Supremo N° 040-2002-EM, artículo 6- Disposiciones Finales- establece “Suspender la aplicación del numeral 3.7 y el pago de compensaciones por emisión de perturbaciones que se refiere el numeral 5.3 de la Norma Técnica de Calidad de los servicios Eléctricos”

Respecto a la evaluación de los indicadores de Calidad de Tensiones Armónicas ningún intervalo de la muestra registra valores que superen los valores límites establecido por la Norma para las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) ni para el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD = 3).

TABLA N° 6.12. INTERVALOS DE FLICKER DE MALA CALIDAD

EVALUACION DE MEDICIONES DE FLICKER

Código de suministro	SUM 008
Cliente	Hidrandina
Estado de la medición	Válida
Compensación 2da etapa [us\$]	1 149
Compensación 3ra etapa [us\$]	12 638
No de intervalos registrados	1008
No de intervalos en falta	241
% De intervalos en falta	23.91
No de intervalos con interrupción	0
% De intervalos con interrupción	0,00
Horas con interrupción	0,00
Fecha de primer intervalo evaluado	20/05/03 12:40
Fecha de ultimo intervalo evaluado	27/05/03 12:30

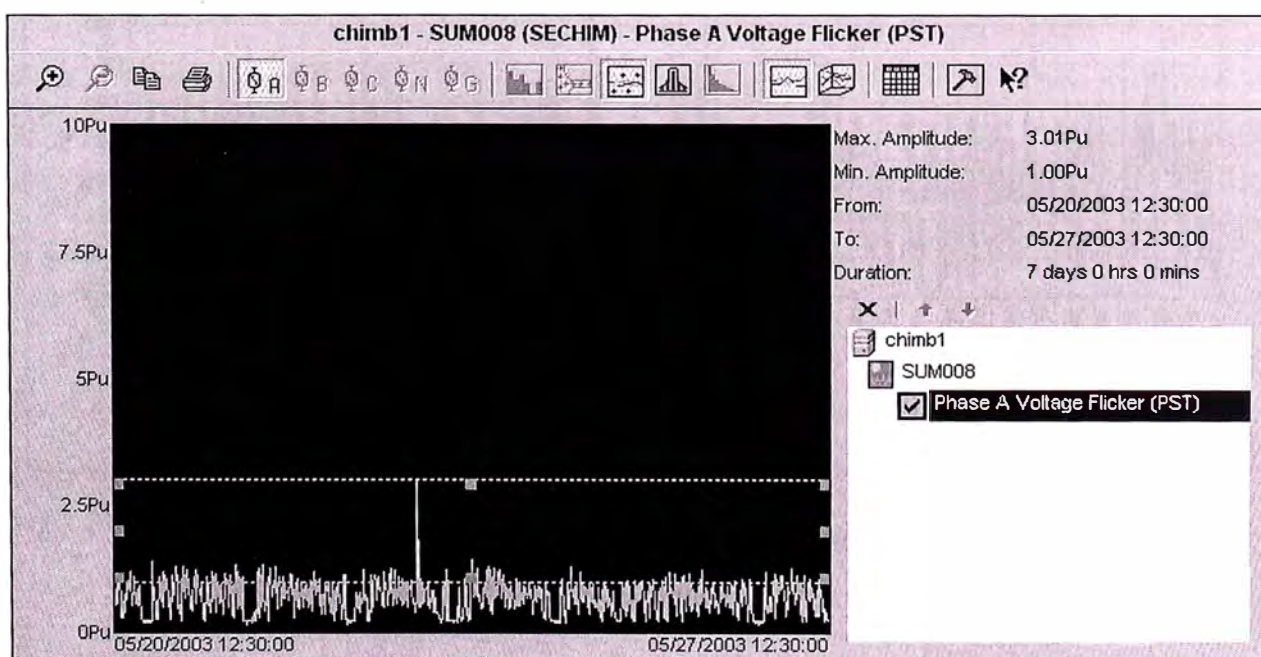


Figura 6.6. Gráfica de la medición del flicker

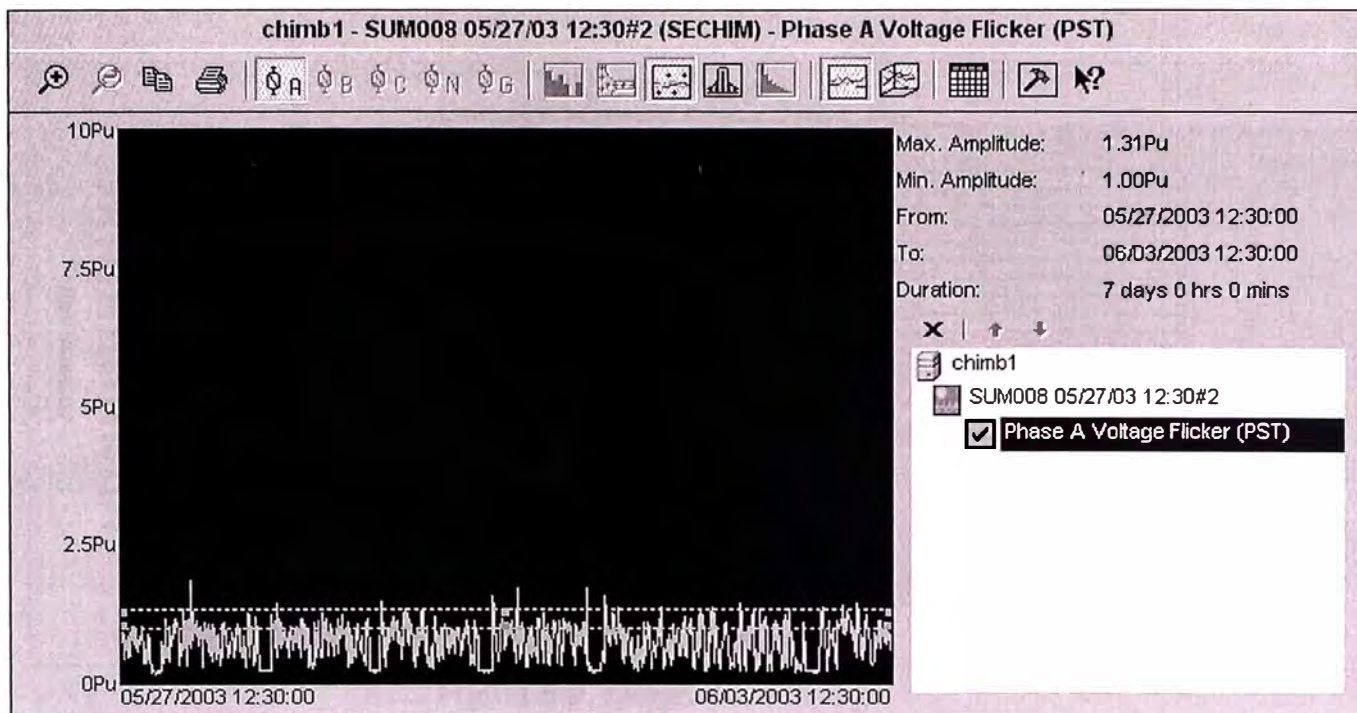


Figura 6.7. Flicker fase A

FIGURA DEL INDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER PST

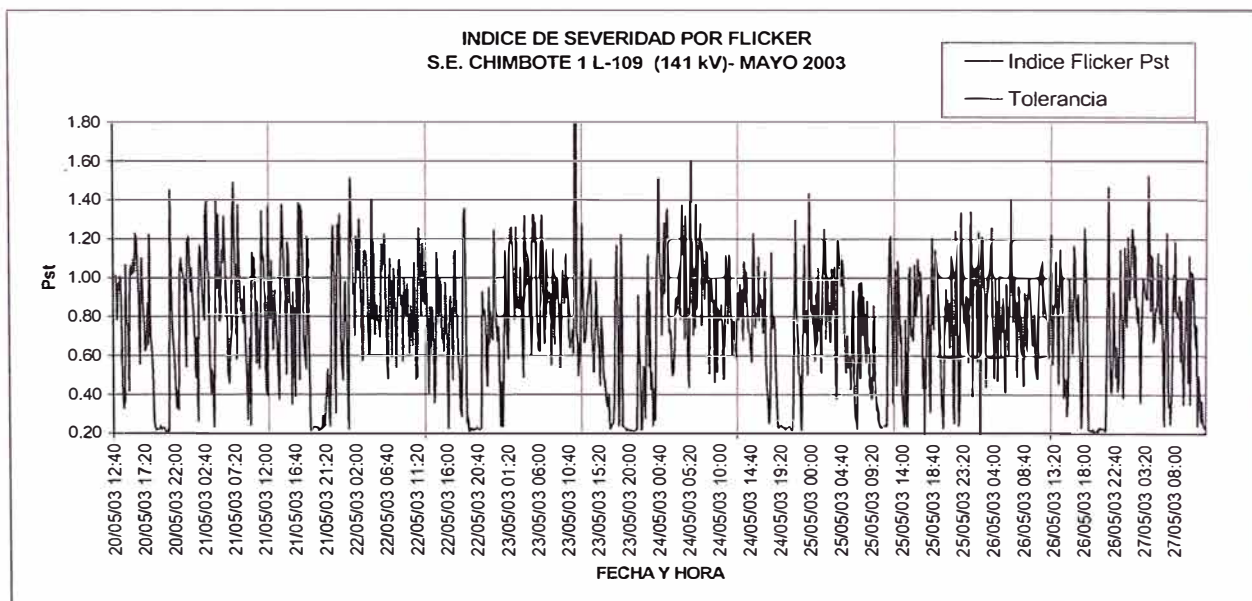


Figura 6.8. Indice de Severidad por Flicker

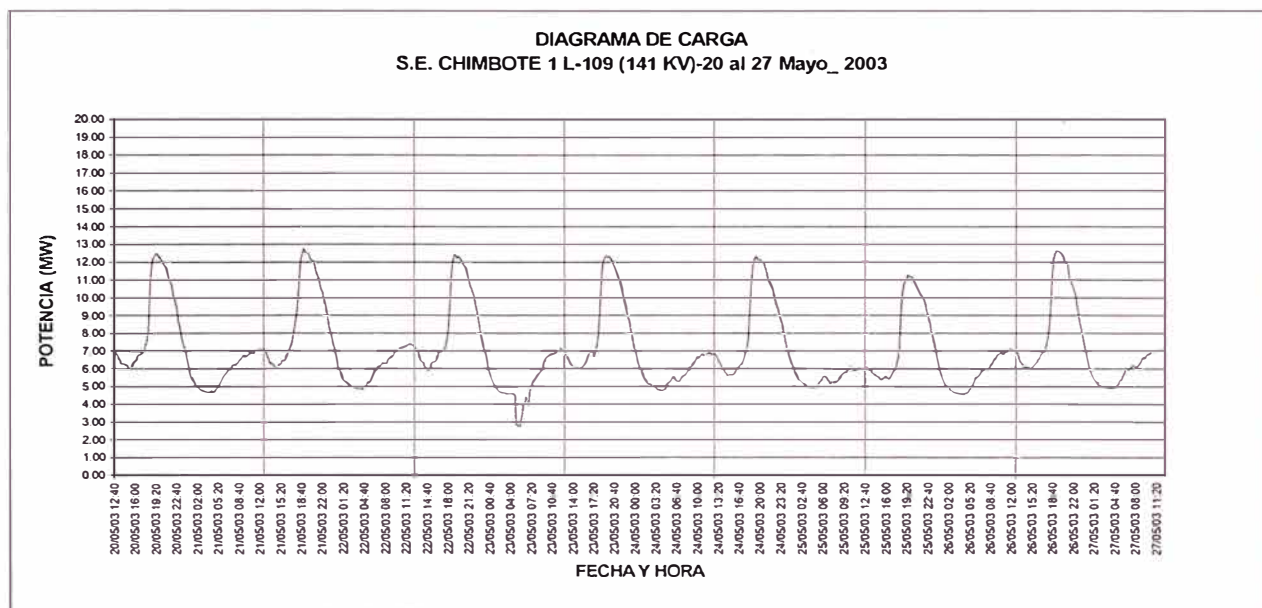


Figura 6.9. Diagrama de carga

TABLA N° 6.13. EVALUACIÓN DE MEDICIONES DE TENSIONES ARMÓNICAS

Código de Suministro	SUM0008
Cliente	Hidrandina
Tensión nominal según la NTCSE	141 000 V
Estado de la medición	VALIDA
Compensación 3° etapa (US\$)	0
N° de intervalos registrados	1008
N° de intervalos en falta	0
% de intervalos en falta	0%
Fecha de inicio	20/05/2003 12:40 horas
Fecha de retiro	27/05/2003 12:30 horas
N° de intervalos con interrupciones	0
% de intervalos con interrupciones	0,00%
Horas de Interrupción	0,00

TABLA N° 6.14

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0,00%	Ok
3	0	0,00%	Ok
4	0	0,00%	Ok
5	0	0,00%	Ok
6	0	0,00%	Ok
⋮	0	0,00%	Ok
38	0	0,00%	Ok
39	0	0,00%	Ok
40	0	0,00%	Ok
THD	0	0,00%	Ok

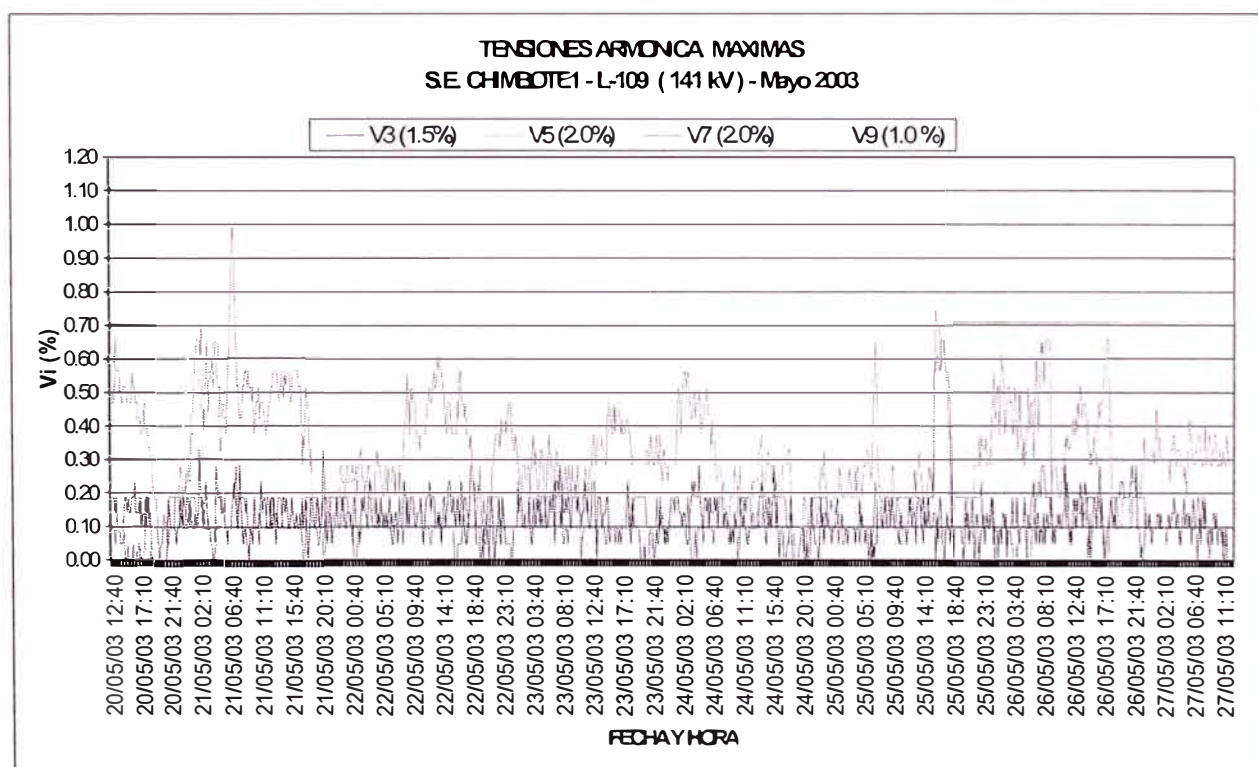


Figura 6.10 Tensiones Armónicas

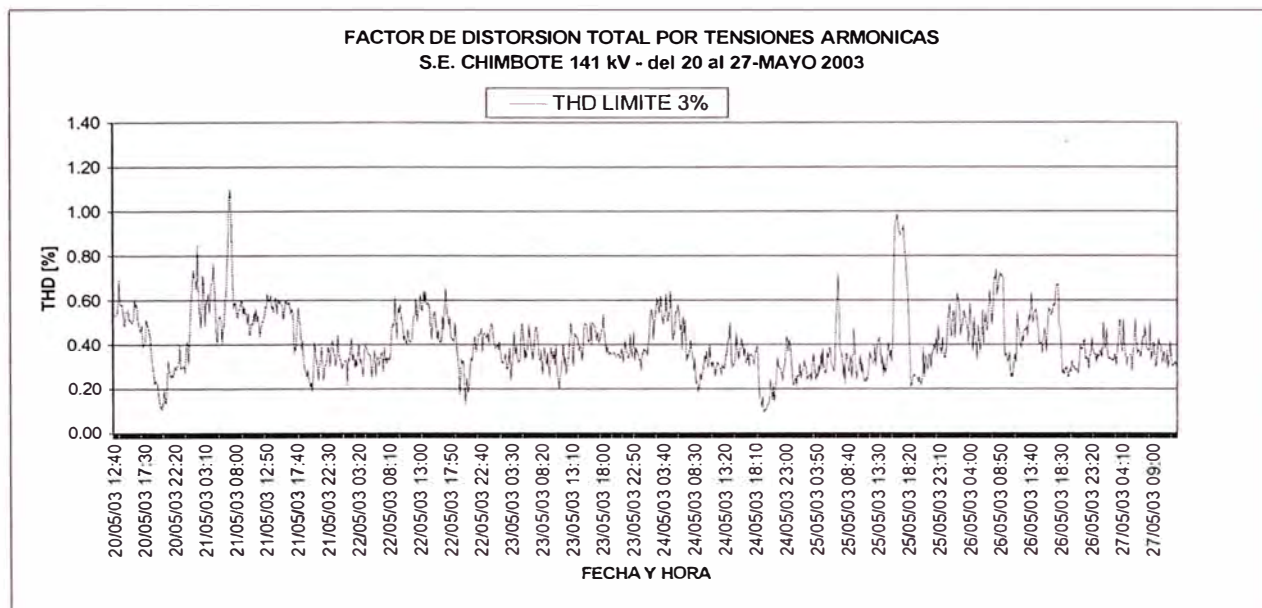


Figura 6.11. Factor de Distorsión Total por Tensiones Armónicas

6.4 Evolución de las Mediciones de Flicker en los Puntos de Suministros de las Distribuidoras del Perú.

6.4.1 Evolución de las Mediciones de Flicker en Sed.

TABLA N° 6.15 PORCENTAJE DE MALA CALIDAD PRIMER SEMESTRE 2002

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	100	2	2,0%
2.- EDELNOR	EDN	108	108	1	0,9%
3.- HIDRANDINA	HID	48	38	35	92,1%
4.- SEAL	SEA	48	41	19	46,3%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	36	4	11,1%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	27	14	51,9%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	21	7	33,3%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	22	21	95,5%
9.- ENOSA	ENO	48	33	0	0,0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	30	23	9	39,1%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	36	32	2	6,3%
12.- ELECTRO SUR	ELS	32	28	13	46,4%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	29	17	6	35,3%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	23	23	100,0%
TOTAL		655	549	156	28%

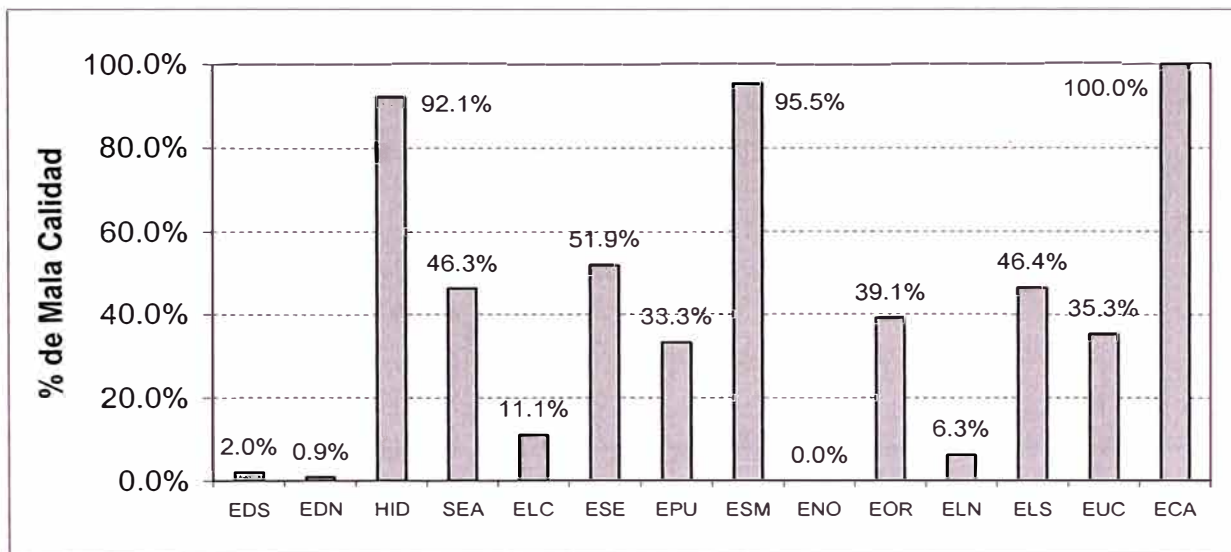


Figura 6.12. Porcentaje de mala calidad de Flicker primer semestre del 2002

TABLA 6.16. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD SEGUNDO SEMESTRE 2002

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	105	3	2,9%
2.- EDELNOR	EDN	108	105	1	1,0%
3.- HIDRANDINA	HID	48	45	29	64,4%
4.- SEAL	SEA	48	46	12	26,1%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	38	8	21,1%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	21	10	47,6%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	23	15	65,2%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	27	27	100,0%
9.- ENOSA	ENO	48	33	0	0,0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	30	22	12	54,5%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	42	39	4	10,3%
12.- ELECTRO SUR	ELS	31	22	9	40,9%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	24	21	1	4,8%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	16	16	100,0%
TOTAL		655	563	147	26%

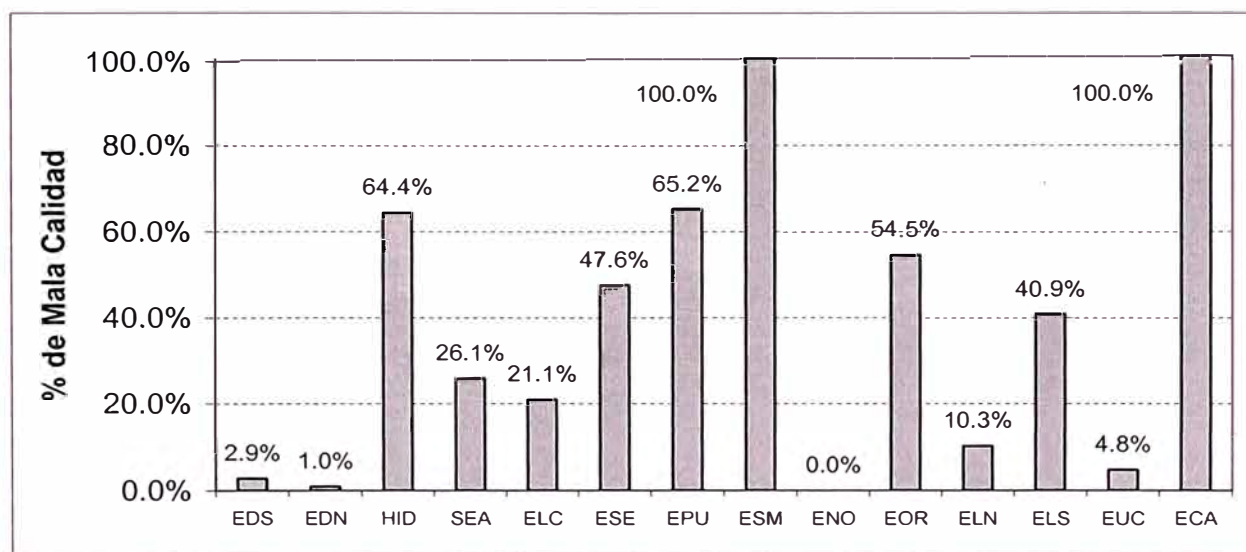


Figura 6.13. Porcentaje de mala calidad de Flicker segundo semestre del 2002

TABLA 6.17. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD PRIMER SEMESTRE 2003

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	101	1	1,0%
2.- EDELNOR	EDN	108	102	4	3,9%
3.- HIDRANDINA	HID	48	46	21	45,7%
4.- SEAL	SEA	48	47	17	36,2%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	41	10	24,4%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	23	9	39,1%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	25	13	52,0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	29	29	100,0%
9.- ENOSA	ENO	48	47	0	0,0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	29	27	12	44,4%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	47	41	9	22,0%
12.- ELECTRO SUR	ELS	28	10	8	80,0%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	26	22	5	22,7%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	12	12	100,0%
TOTAL		658	573	150	26%

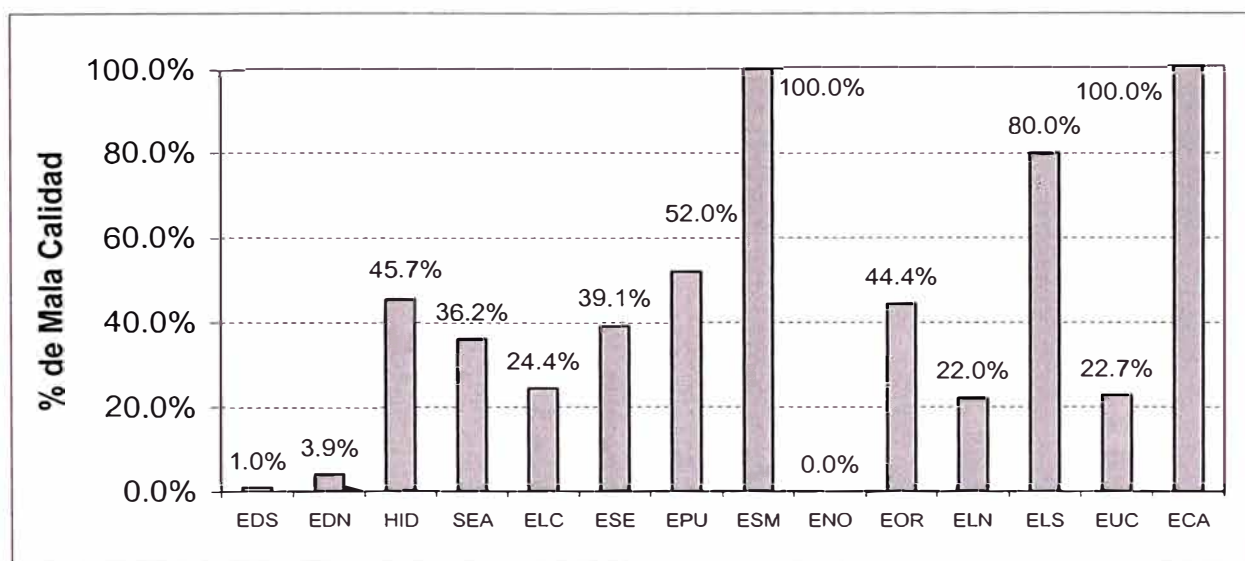


Figura 6.14 Porcentaje de mala calidad de Flicker primer semestre del 2003

6.4.2 Evolución de las mediciones de Flicker en clientes de media y alta tensión.

TABLA N° 6.18. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD PRIMER SEMESTRE 2002 EN CLIENTES MT-AT

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	131	127	1	1%
2.- EDELNOR	EDN	96	95	5	5%
3.- HIDRANDINA	HID	112	101	55	54%
4.- SEAL	SEA	24	22	0	0%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	26	25	3	12%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	18	5	28%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	18	12	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	97	83	79	95%
9.- ENOSA	ENO	48	38	0	0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	42	37	7	19%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	27	24	3	13%
12.- ELECTRO SUR	ELS	42	34	20	59%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	22	12	1	8%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	6	6	100%
TOTAL		715	634	185	29%

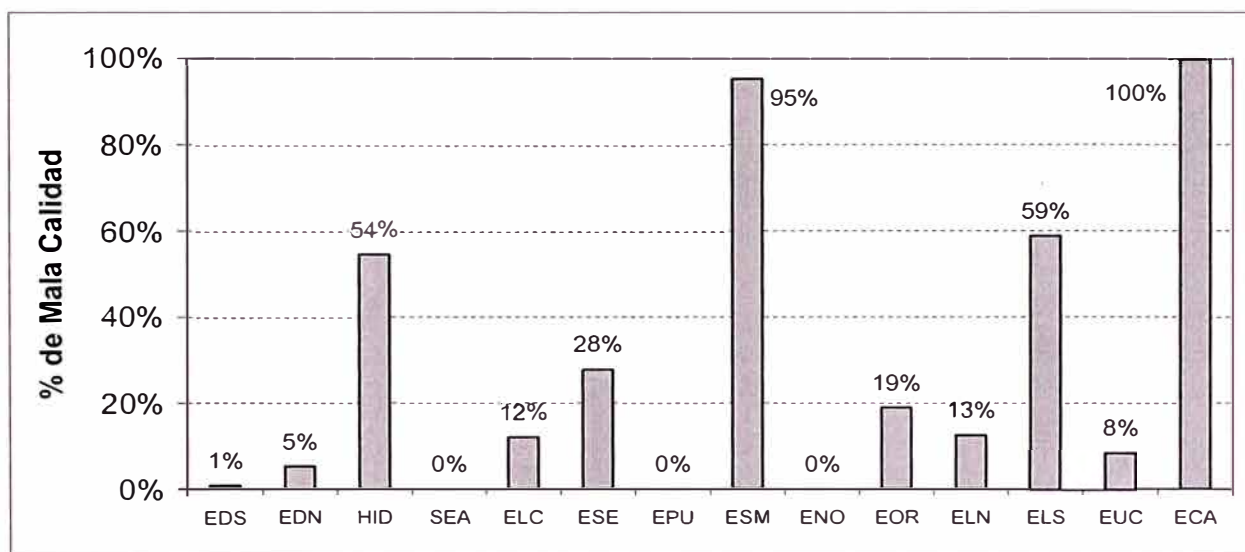


Figura 6.15 Porcentaje de mala calidad de Flicker primer semestre del 2002-Clientes MT-AT

TABLA 6.19. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD SEGUNDO SEMESTRE 2002 EN CLIENTES MT-AT

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	137	133	4	3%
2.- EDELNOR	EDN	102	95	4	4%
3.- HIDRANDINA	HID	102	99	70	71%
4.- SEAL	SEA	24	21	2	10%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	25	19	1	5%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	8	2	25%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	18	16	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	94	84	79	94%
9.- ENOSA	ENO	48	41	0	0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	42	36	6	17%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	34	27	3	11%
12.- ELECTRO SUR	ELS	42	29	11	38%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	22	17	0	0%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	7	7	100%
TOTAL		720	632	189	30%

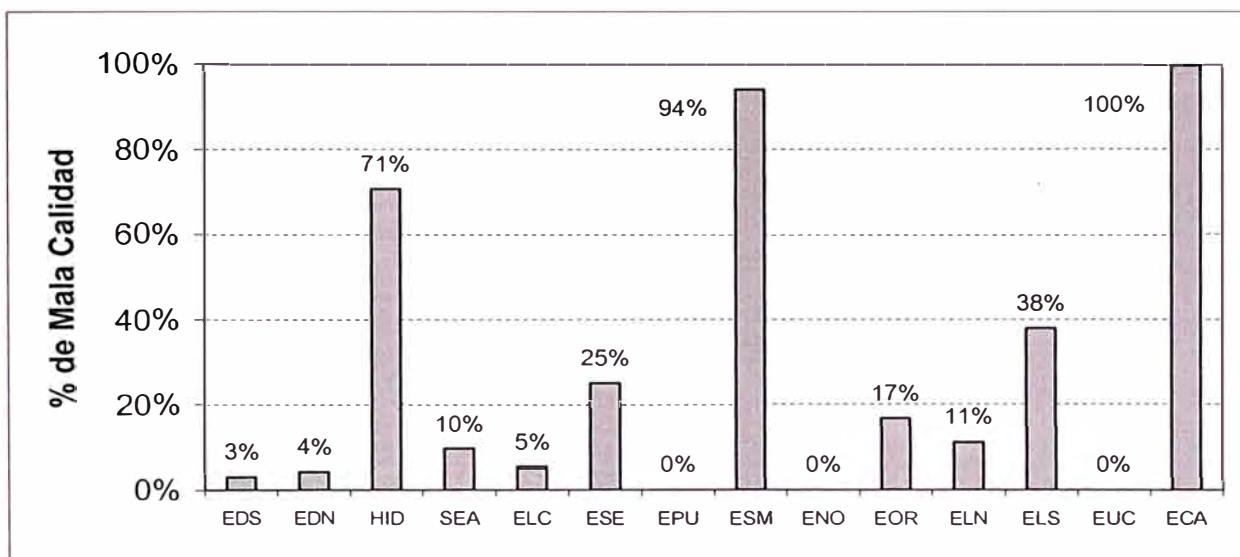


Figura 6.16 Porcentaje de mala calidad de Flicker segundo semestre del 2002- Clientes MT-AT

TABLA 6.20. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD PRIMER SEMESTRE 2003 EN CLIENTES MT-AT

Empresa		Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)
		Efectuadas	Validas	Mala Calidad	
1.- LUZ DEL SUR	EDS	143	136	2	1%
2.- EDELNOR	EDN	76	72	2	3%
3.- HIDRANDINA	HID	98	86	46	53%
4.- SEAL	SEA	24	23	0	0%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	26	21	1	5%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	17	4	24%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	17	14	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	85	79	79	100%
9.- ENOSA	ENO	48	42	2	5%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	44	39	5	13%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	27	25	2	8%
12.- ELECTRO SUR	ELS	39	15	14	93%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	24	19	0	0%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	8	8	100%
TOTAL		681	596	165	28%

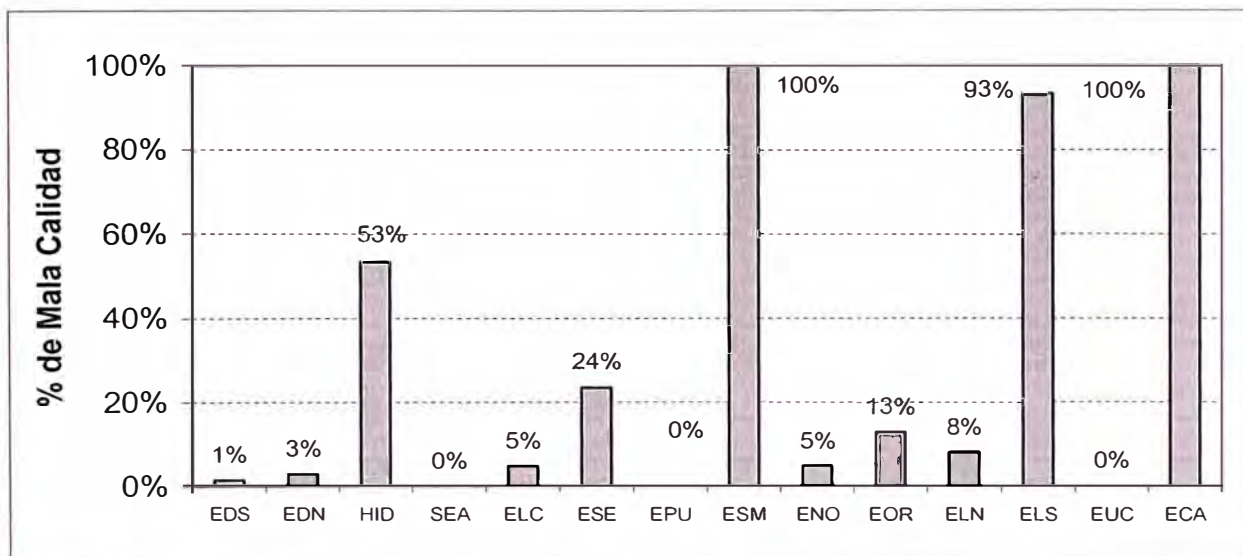


Figura 6.17 Porcentaje mala calidad de Flicker 1er semestre 2003-Clientes MT-AT

6.4.3 Límites excedidos de PST = 1 en las mediciones de Flicker que se detectaron con mala calidad.

Resultados de la Calidad de Flicker en clientes MT AÑO 2002

N° Mediciones	MPRES	PST<-1	1<PST<-1.3	3<PST<-1	6<PST<-1	9<PST<-2	2<PST<-2	5<PST<-2	8<PST<-3	11<PST<-3	14<PST<-3	17<PST<-4	20<PST<-4	PST > 4.3
5	EDS	89.31%	4.86%	0.14%	0.16%	3.19%	0.60%	0.26%	0.28%	0.16%	0.06%	0.54%	0.06%	0.40%
292	HID	62.62%	16.85%	10.48%	5.47%	2.32%	0.89%	0.35%	0.23%	0.20%	0.16%	0.12%	0.08%	0.23%
91	ENO	75.48%	12.80%	4.49%	2.40%	2.15%	1.02%	0.63%	0.25%	0.15%	0.09%	0.08%	0.08%	0.39%
0	EPU	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	ELC	50.02%	32.63%	10.21%	2.20%	2.44%	1.37%	0.56%	0.24%	0.12%	0.09%	0.03%	0.03%	0.07%
54	ELS	82.33%	5.39%	2.34%	2.12%	2.17%	1.56%	0.78%	0.51%	0.33%	0.25%	0.18%	0.13%	1.89%
10	EDN	75.81%	6.48%	2.55%	1.13%	14.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	SEA	95.73%	3.70%	0.13%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.33%
175	ESM	57.34%	14.16%	12.27%	8.01%	4.22%	1.92%	0.91%	0.48%	0.25%	0.16%	0.12%	0.07%	0.09%
9	ESE	50.68%	11.59%	7.51%	6.44%	6.08%	3.73%	1.03%	0.32%	0.17%	0.15%	0.20%	0.13%	11.98%
6	ELN	50.38%	13.71%	7.32%	8.25%	5.57%	4.13%	3.32%	3.52%	2.65%	0.56%	0.46%	0.12%	0.00%
23	EOR	59.70%	5.41%	5.61%	5.13%	3.76%	2.24%	1.78%	1.62%	1.28%	1.20%	1.10%	0.89%	10.28%
7	EUC	92.18%	4.00%	1.46%	0.51%	0.27%	0.30%	0.18%	0.33%	0.23%	0.23%	0.11%	0.10%	0.11%
26	ECA	63.18%	16.64%	9.31%	4.99%	2.59%	1.13%	0.34%	0.11%	0.04%	0.03%	0.03%	0.03%	1.57%

Resultados de la Calidad de Flicker en SED AÑO 2002

N° Mediciones	MPRES	PST<-1	1<PST<-1.3	3<PST<-1	6<PST<-1	9<PST<-2	2<PST<-2	5<PST<-2	8<PST<-3	11<PST<-3	14<PST<-3	17<PST<-4	20<PST<-4	PST > 4.3
6	EDS	87.09%	6.81%	5.36%	0.46%	0.17%	0.05%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
198	HID	48.49%	22.66%	14.55%	7.84%	3.18%	1.13%	0.51%	0.37%	0.28%	0.22%	0.18%	0.15%	0.46%
92	ENO	62.08%	25.36%	8.12%	2.34%	1.05%	0.62%	0.27%	0.09%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
1	EPU	75.69%	11.31%	6.45%	3.17%	1.59%	0.20%	0.50%	0.30%	0.20%	0.00%	0.10%	0.00%	0.50%
53	ELC	48.81%	27.98%	13.30%	5.45%	1.94%	0.88%	0.48%	0.35%	0.15%	0.12%	0.07%	0.10%	0.36%
34	ELS	86.13%	6.02%	2.73%	1.64%	1.56%	0.68%	0.39%	0.19%	0.13%	0.07%	0.06%	0.02%	0.37%
2	EDN	91.17%	3.08%	1.74%	0.50%	3.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45	SEA	88.84%	3.00%	2.00%	1.33%	0.95%	0.76%	0.53%	0.43%	0.33%	0.25%	0.20%	0.18%	1.21%
57	ESM	56.12%	13.91%	12.99%	8.35%	4.32%	1.78%	0.75%	0.38%	0.19%	0.13%	0.05%	0.04%	1.01%
29	ESE	61.35%	13.43%	7.83%	5.16%	3.43%	2.40%	2.12%	1.57%	0.82%	0.67%	0.46%	0.16%	0.59%
7	ELN	68.69%	9.57%	3.29%	3.05%	2.86%	2.92%	2.54%	2.08%	1.43%	0.72%	0.52%	0.44%	1.88%
29	EOR	78.79%	12.50%	5.25%	1.91%	0.76%	0.36%	0.13%	0.08%	0.05%	0.02%	0.01%	0.01%	0.11%
25	EUC	83.49%	4.33%	3.56%	3.11%	1.70%	1.06%	0.76%	0.54%	0.47%	0.36%	0.23%	0.17%	0.24%
56	ECA	54.71%	21.34%	13.54%	5.63%	2.35%	0.94%	0.51%	0.33%	0.21%	0.18%	0.10%	0.04%	0.10%

Figura 6.18 Indicador del Flicker en el Perú – Año 2002

Resultados de la Calidad de Flicker en clientes MT AÑO 2003 S1

N° Medicinas	MPRES	PST < 1	1 < PST <= 1.3	1.3 < PST <= 1.6	1.6 < PST <= 1.9	1.9 < PST <= 2.2	2.2 < PST <= 2.5	2.5 < PST <= 2.8	2.8 < PST <= 3.1	3.1 < PST <= 3.4	3.4 < PST <= 3.7	3.7 < PST <= 4.0	4.0 < PST <= 4.3	PST > 4.3
2	EDS	84.13%	6.40%	2.38%	0.99%	1.34%	0.74%	0.49%	0.74%	0.40%	0.45%	0.25%	0.55%	0.94%
54	HID	66.37%	14.11%	10.12%	5.15%	1.89%	0.71%	0.46%	0.39%	0.33%	0.14%	0.12%	0.05%	0.16%
22	ENO	89.84%	4.17%	2.60%	1.56%	1.36%	0.35%	0.09%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0	EPU	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	ELC	73.92%	18.94%	6.35%	0.55%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
17	ELS	67.61%	12.56%	6.59%	3.13%	2.56%	2.53%	1.66%	1.18%	0.75%	0.77%	0.38%	0.07%	0.22%
2	EDN	91.52%	3.57%	0.84%	1.34%	2.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	SEA	98.61%	0.99%	0.20%	0.05%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
87	ESM	49.13%	17.16%	16.66%	9.78%	4.42%	1.66%	0.66%	0.27%	0.12%	0.06%	0.03%	0.01%	0.05%
4	ESE	57.12%	13.59%	10.37%	4.84%	2.64%	4.04%	2.41%	1.69%	1.04%	0.84%	0.50%	0.32%	0.57%
4	ELN	90.05%	4.54%	1.29%	0.92%	0.52%	0.55%	0.62%	0.57%	0.35%	0.27%	0.27%	0.07%	0.05%
14	EOR	55.97%	12.56%	8.57%	3.56%	1.08%	0.57%	0.38%	1.71%	5.84%	0.26%	0.20%	0.15%	9.16%
0	EUC	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	ECA	60.29%	23.06%	10.93%	3.36%	1.12%	0.35%	0.12%	0.09%	0.18%	0.29%	0.05%	0.03%	0.13%

Resultados de la Calidad de Flicker en SED AÑO 2003 S1

N° Medicinas	MPRES	PST < 1	1 < PST <= 1.3	1.3 < PST <= 1.6	1.6 < PST <= 1.9	1.9 < PST <= 2.2	2.2 < PST <= 2.5	2.5 < PST <= 2.8	2.8 < PST <= 3.1	3.1 < PST <= 3.4	3.4 < PST <= 3.7	3.7 < PST <= 4.0	4.0 < PST <= 4.3	PST > 4.3
1	EDS	89.78%	0.79%	1.69%	1.29%	0.79%	1.39%	0.69%	1.09%	0.79%	0.79%	0.50%	0.40%	0.00%
24	HID	71.03%	14.10%	9.08%	3.53%	0.72%	0.29%	0.26%	0.22%	0.21%	0.21%	0.20%	0.05%	0.10%
6	ENO	55.29%	32.75%	8.42%	2.86%	0.61%	0.05%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0	EPU	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	ELC	85.10%	5.30%	2.27%	1.12%	1.06%	1.05%	0.93%	0.92%	0.77%	0.53%	0.38%	0.23%	0.34%
11	ELS	61.18%	14.02%	7.13%	3.91%	3.00%	2.71%	1.82%	1.61%	0.84%	0.75%	0.55%	0.30%	2.16%
4	EDN	92.44%	2.93%	0.60%	0.47%	3.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
24	SEA	87.38%	4.40%	1.79%	1.60%	0.79%	0.75%	0.69%	0.67%	0.57%	0.38%	0.23%	0.15%	0.67%
29	ESM	50.47%	17.45%	16.13%	9.20%	3.97%	1.66%	0.61%	0.25%	0.10%	0.04%	0.02%	0.02%	0.08%
11	ESE	44.31%	15.56%	12.14%	9.85%	7.64%	5.47%	2.27%	0.64%	0.85%	0.31%	0.22%	0.17%	0.51%
9	ELN	82.55%	4.73%	2.57%	1.87%	1.43%	1.42%	1.58%	1.23%	0.80%	0.74%	0.39%	0.32%	0.36%
16	EOR	74.81%	12.76%	6.33%	2.41%	1.12%	0.80%	0.48%	0.26%	0.25%	0.27%	0.16%	0.02%	0.33%
14	EUC	89.80%	5.20%	2.16%	1.37%	0.69%	0.28%	0.18%	0.16%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.08%
18	ECA	51.46%	21.21%	12.58%	5.30%	2.05%	0.69%	0.33%	0.26%	0.20%	0.17%	0.15%	0.03%	5.55%

Figura 6.19 Indicador del Flicker en el Perú – Primer Semestre 2003

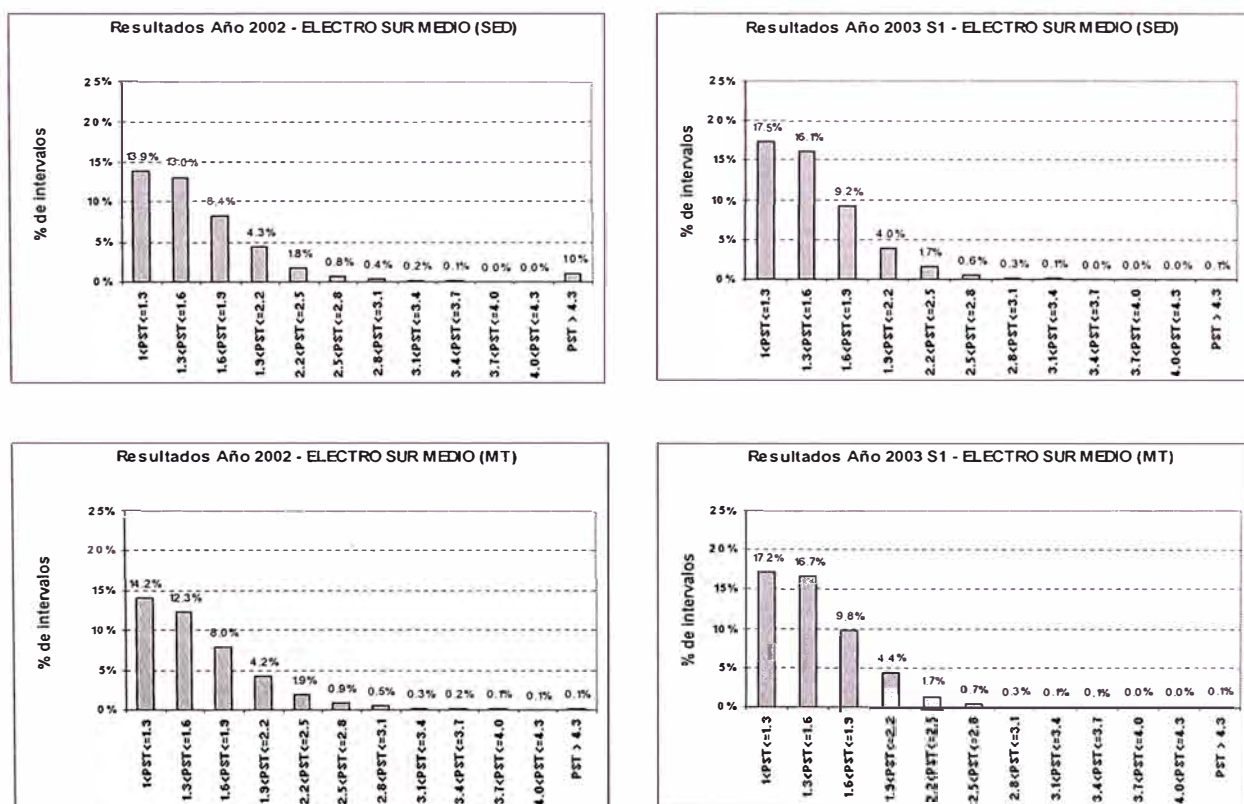


Figura 6. 20. Indicador Flicker ELECTRO SUR MEDIO

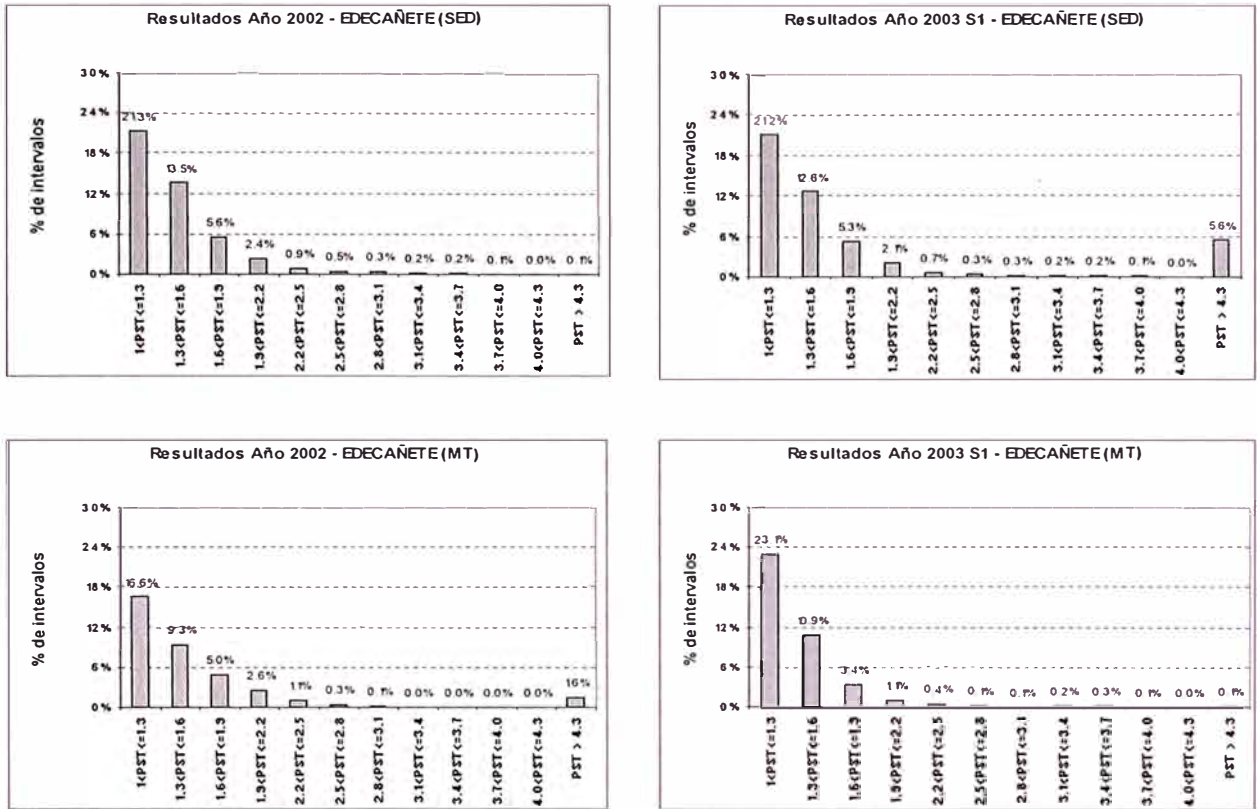


Figura 6.21. Indicador Flicker EDECAÑETE

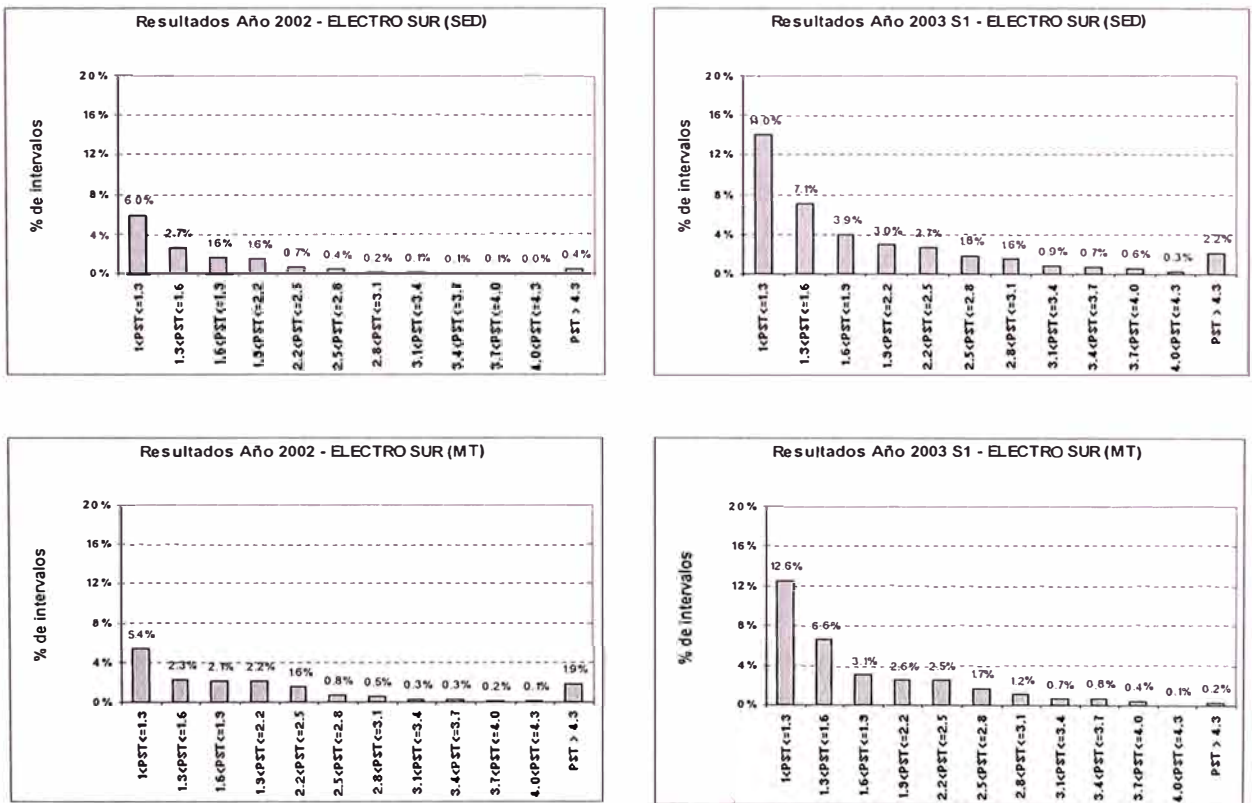


Figura 6.22 Indicador Flicker ELECTRO SUR

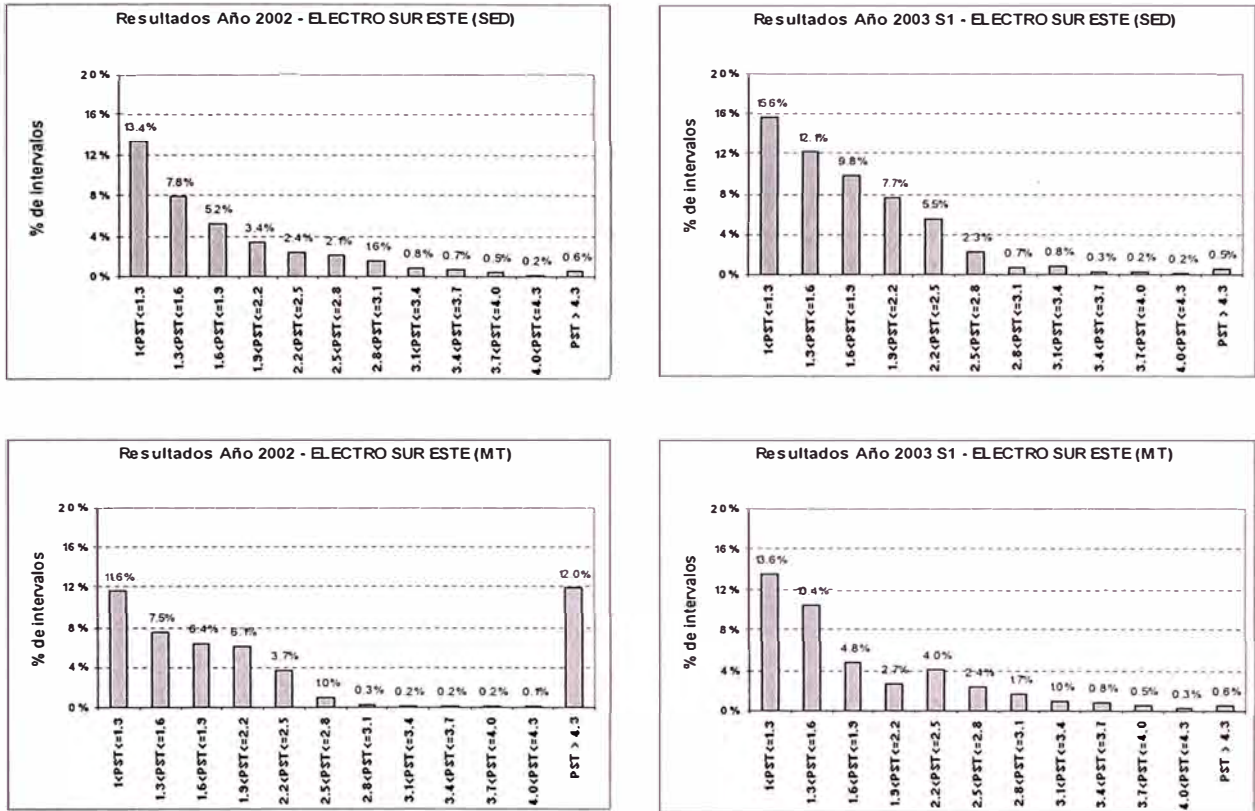


Figura 6. 23 Indicador Flicker ELECTRO SUR ESTE

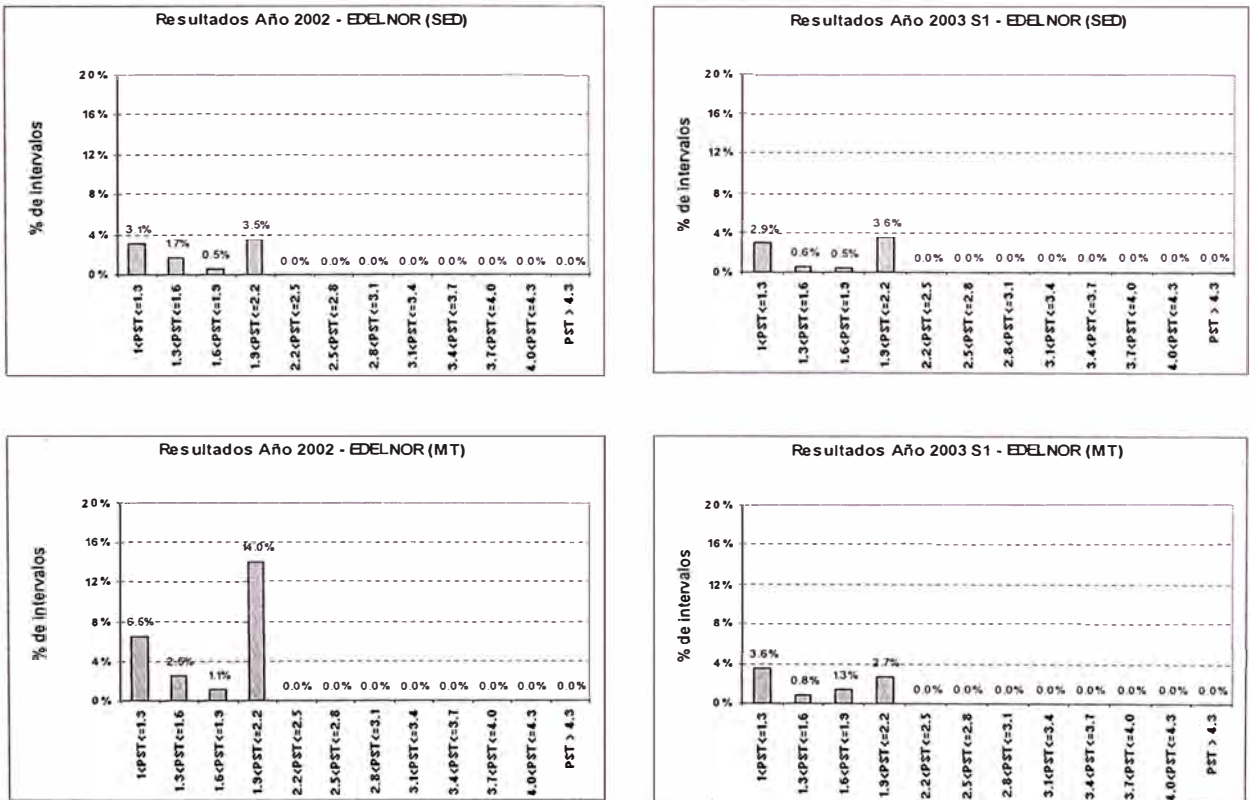


Figura 6. 24. Indicador Flicker EDELNOR

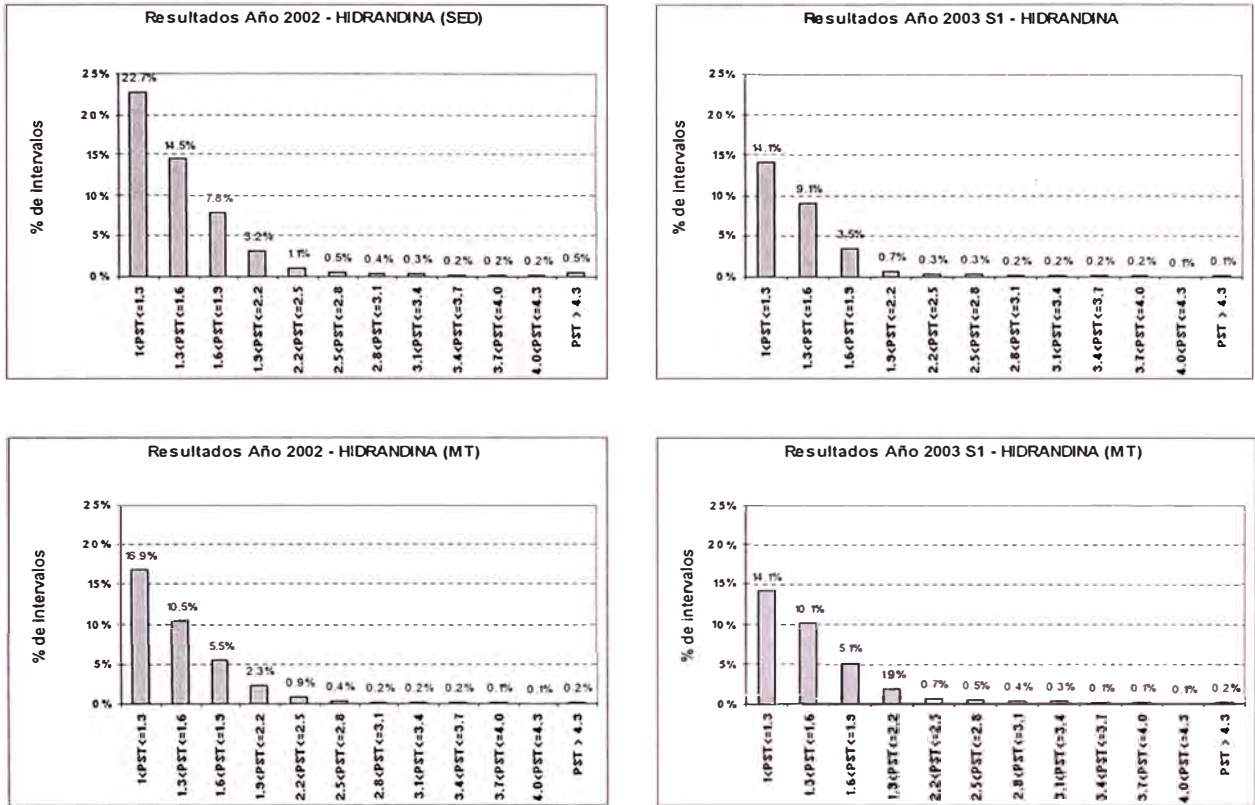


Figura 6.25. Indicador Flicker HIDRANDINA

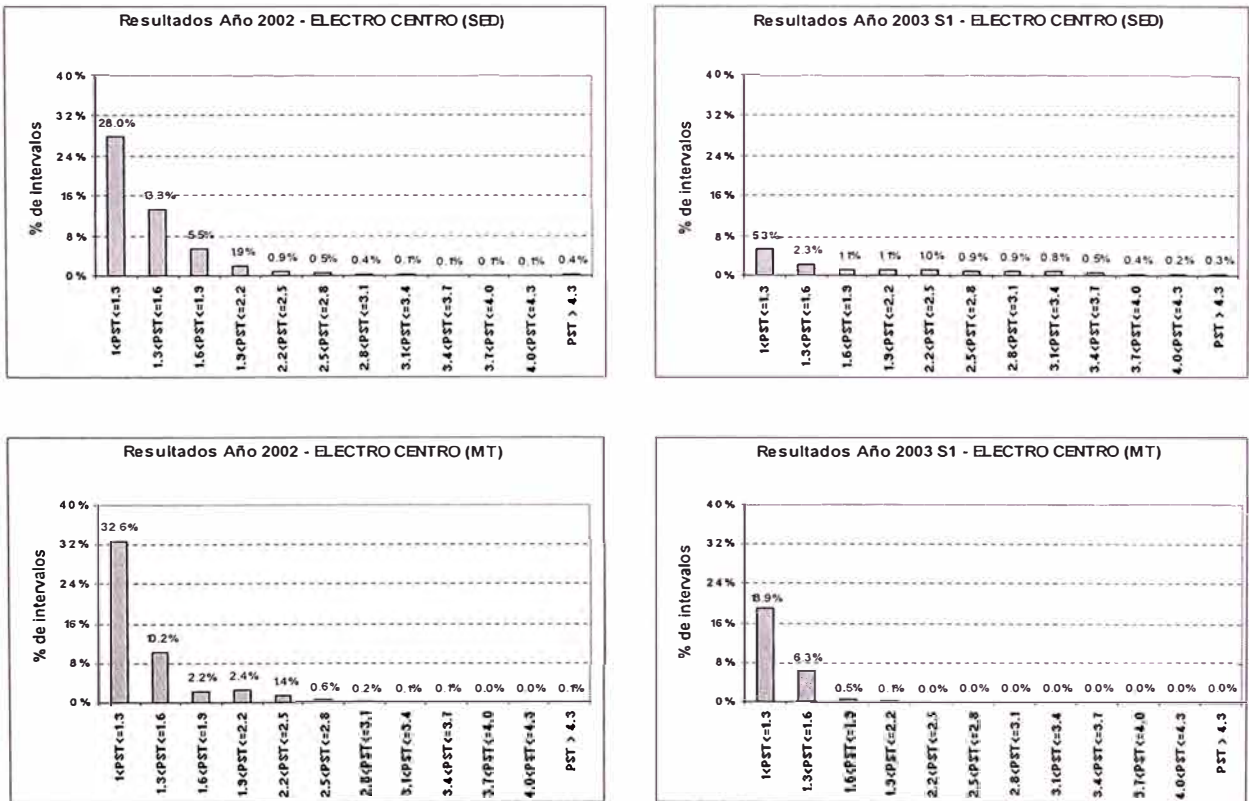


Figura 6.26. Indicador Flicker ELECTRO CENTRO

6.5 Evolución de las Mediciones de Armónicos en los Puntos de Suministros de las Distribuidoras del Perú.

6.5.1 Evolución de las Mediciones de Armónicos en Sed.

TABLA N°6.21. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
PRIMER SEMESTRE 2002

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	100	1	1,0%
2.- EDELNOR	EDN	108	108	0	0,0%
3.- HIDRANDINA	HID	48	38	2	5,3%
4.- SEAL	SEA	48	41	12	29,3%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	36	4	11,1%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	27	8	29,6%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	21	2	9,5%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	22	6	27,3%
9.- ENOSA	ENO	48	33	0	0,0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	30	23	3	13,0%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	36	32	0	0,0%
12.- ELECTRO SUR	ELS	32	28	18	64,3%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	29	17	1	5,9%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	23	0	0,0%
TOTAL		655	549	57	10%

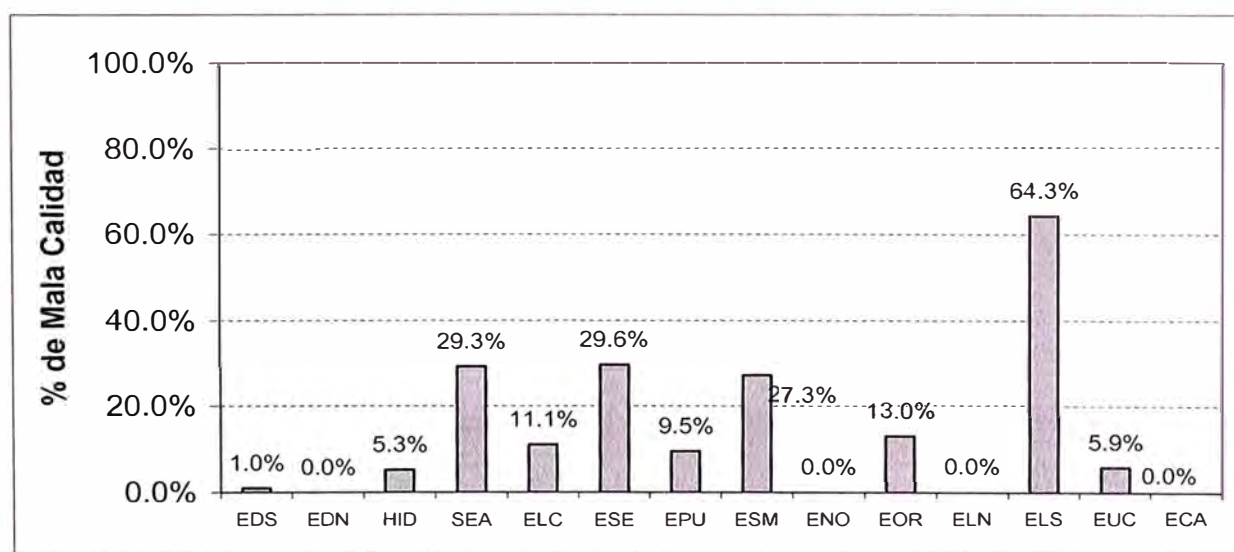


Figura 6.27 Porcentaje de mala calidad de armónicos primer semestre del 2002

TABLA N° 6.22. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
SEGUNDO SEMESTRE 2002

Empresa		Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)
		Efectuadas	Validas	Mala Calidad	
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	105	2	1,9%
2.- EDELNOR	EDN	108	105	2	1,9%
3.- HIDRANDINA	HID	48	45	4	8,9%
4.- SEAL	SEA	48	46	7	15,2%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	38	9	23,7%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	21	3	14,3%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	23	3	13,0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	27	6	22,2%
9.- ENOSA	ENO	48	33	0	0,0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	30	22	4	18,2%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	42	39	1	2,6%
12.- ELECTRO SUR	ELS	31	22	11	50,0%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	24	21	1	4,8%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	16	0	0,0%
TOTAL		655	563	53	9%

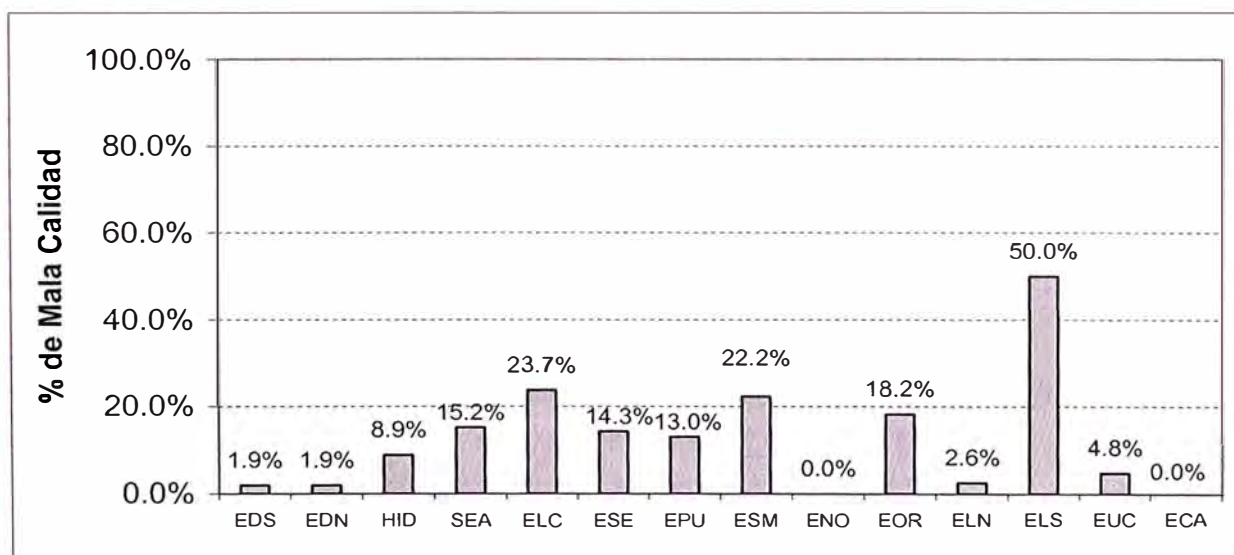


Figura 6.27 Porcentaje de mala calidad de armónicos segundo semestre del 2002

TABLA N° 6.23. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
PRIMER SEMESTRE 2003

Empresa		Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)
		Efectuadas	Validas	Mala Calidad	
1.- LUZ DEL SUR	EDS	108	101	3	3,0%
2.- EDELNOR	EDN	108	102	2	2,0%
3.- HIDRANDINA	HID	48	46	6	13,0%
4.- SEAL	SEA	48	47	15	31,9%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	48	41	7	17,1%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	30	23	12	52,2%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	30	25	4	16,0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	30	29	5	17,2%
9.- ENOSA	ENO	48	47	3	6,4%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	29	27	5	18,5%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	47	41	8	19,5%
12.- ELECTRO SUR	ELS	28	10	8	80,0%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	26	22	6	27,3%
14.- EDECAÑETE	ECA	30	12	0	0,0%
TOTAL		658	573	84	15%

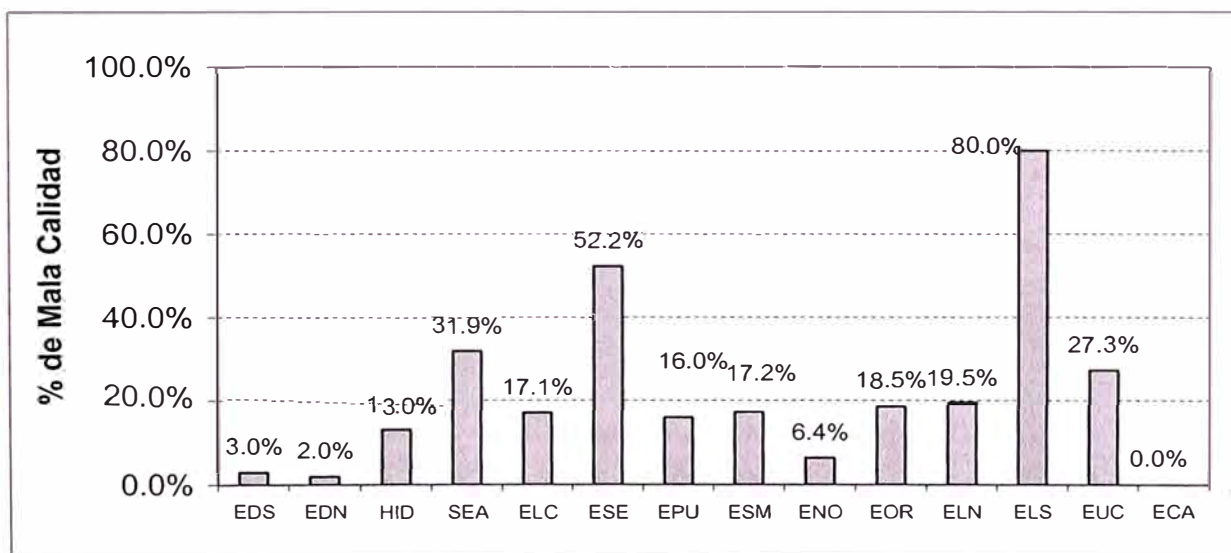


Figura 6.28. % de mala calidad de armónicos primer semestre del 2003

6.5.2 Evolución de las mediciones de armónicos en clientes de media y alta tensión.

TABLA N° 6.24. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
PRIMER SEMESTRE 2002

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	131	127	6	5%
2.- EDELNOR	EDN	96	95	1	1%
3.- HIDRANDINA	HID	112	101	12	12%
4.- SEAL	SEA	24	22	1	5%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	26	25	2	8%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	18	3	17%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	18	12	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	97	83	5	6%
9.- ENOSA	ENO	48	38	0	0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	42	37	4	11%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	27	24	0	0%
12.- ELECTRO SUR	ELS	42	34	26	76%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	22	12	0	0%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	6	0	0%
TOTAL		715	634	60	9%

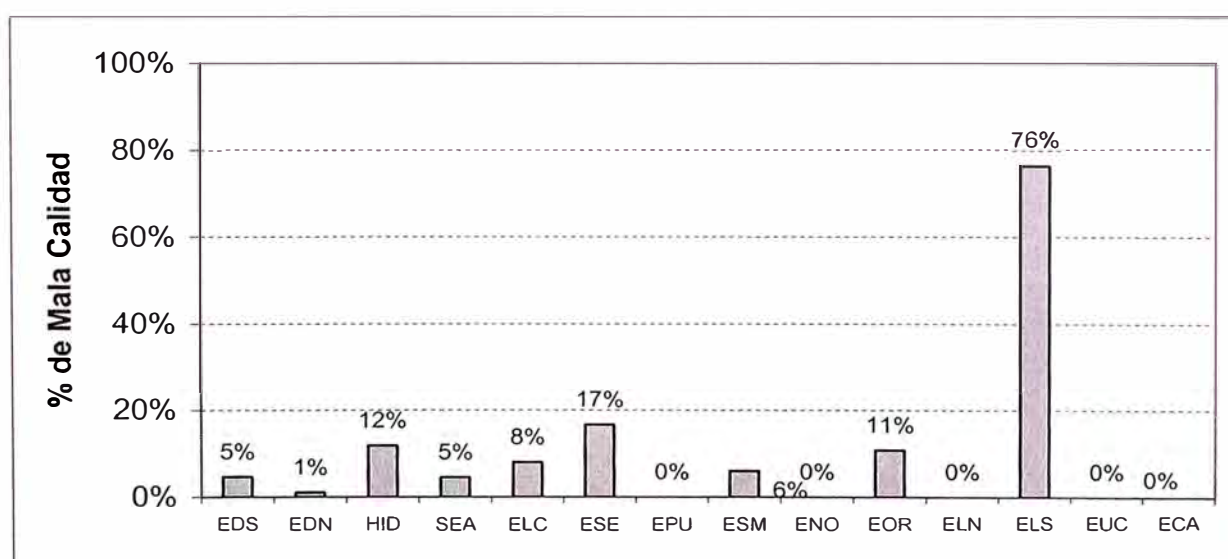


Figura 6.29 Porcentaje de mala calidad de armónicos primer semestre del 2002

TABLA N° 6.25. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
SEGUNDO SEMESTRE 2002

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	137	133	13	10%
2.- EDELNOR	EDN	102	95	3	3%
3.- HIDRANDINA	HID	102	99	15	15%
4.- SEAL	SEA	24	21	2	10%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	25	19	2	11%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	8	1	13%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	18	16	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	94	84	6	7%
9.- ENOSA	ENO	48	41	0	0%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	42	36	5	14%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	34	27	3	11%
12.- ELECTRO SUR	ELS	42	29	14	48%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	22	17	2	12%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	7	0	0%
TOTAL		720	632	66	10%

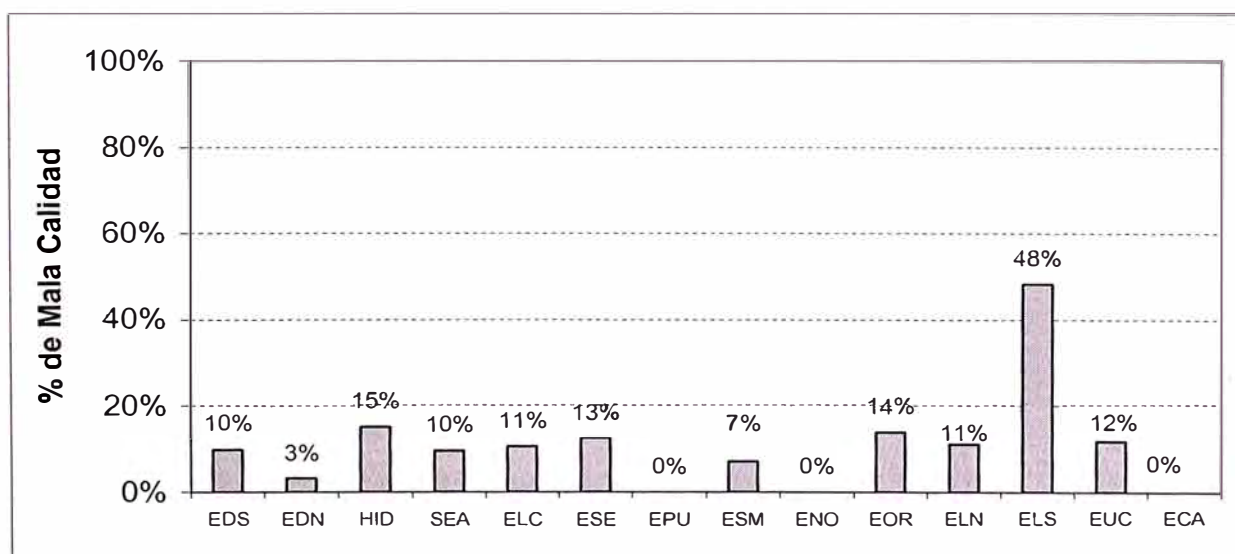


Figura 6.30 Porcentaje de mala calidad de armónicos segundo semestre del 2002

TABLA N° 6.26. PORCENTAJE DE MALA CALIDAD DE ARMÓNICOS
PRIMER SEMESTRE 2003

Empresa	Mediciones			Porcentaje Mala Calidad (%)	
	Efectuadas	Validas	Mala Calidad		
1.- LUZ DEL SUR	EDS	143	136	13	10%
2.- EDELNOR	EDN	76	72	5	7%
3.- HIDRANDINA	HID	98	86	14	16%
4.- SEAL	SEA	24	23	2	9%
5.- ELECTRO CENTRO	ELC	26	21	1	5%
6.- ELECTRO SUR ESTE	ESE	18	17	5	29%
7.- ELECTRO PUNO	EPU	17	14	0	0%
8.- ELECTRO SUR MEDIO	ESM	85	79	10	13%
9.- ENOSA	ENO	48	42	1	2%
10.- ELECTRO ORIENTE	EOR	44	39	4	10%
11.- ELECTRO NORTE	ELN	27	25	1	4%
12.- ELECTRO SUR	ELS	39	15	11	73%
13.- ELECTRO UCAYALI	EUC	24	19	1	5%
14.- EDECAÑETE	ECA	12	8	0	0%
TOTAL		681	596	68	11%

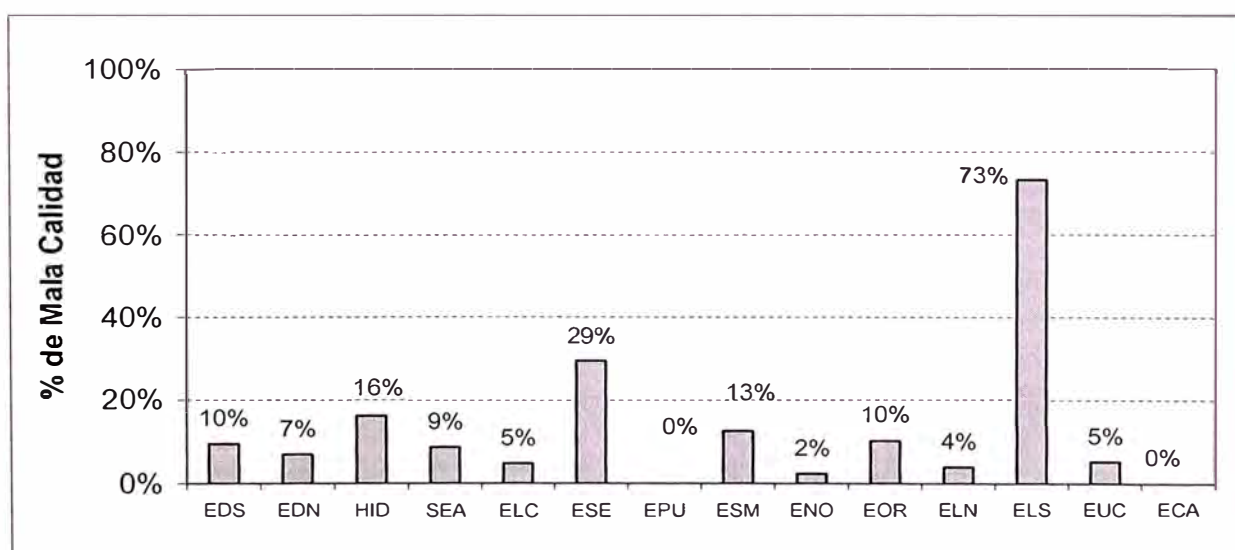


Figura 6.31 Porcentaje de mala calidad de armónicos primer semestre del 2003

6.5.3 Porcentaje de las mediciones donde se detectaron con mala calidad de armónicos individual.

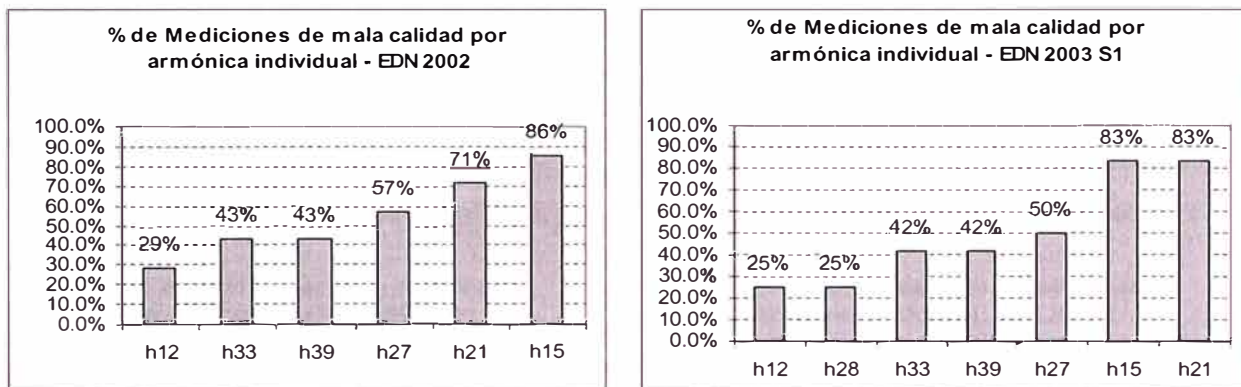


Figura 6.32 Porcentaje de mala calidad por armónica individual EDELNOR

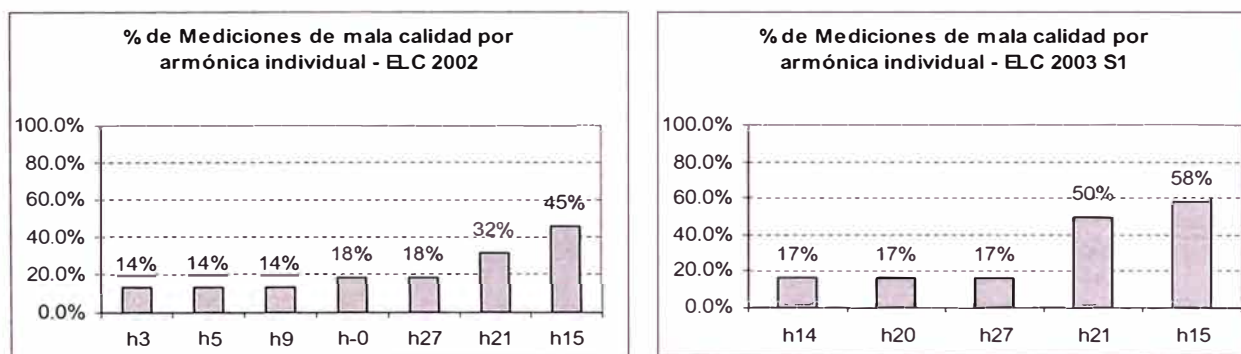


Fig. 6.33 Porcentaje de mala calidad por armónica individual ELECTROCENTRO

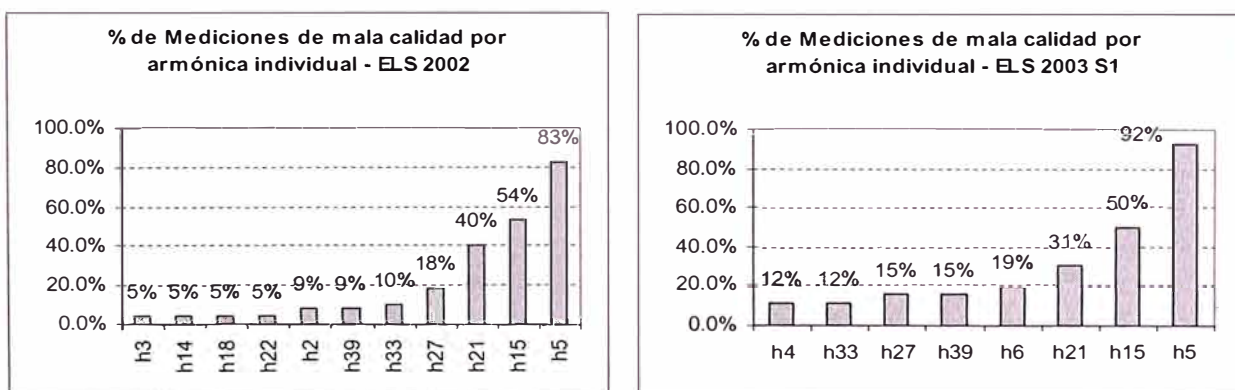


Figura 6.34 Porcentaje de mala calidad por armónica individual ELECTRO SUR

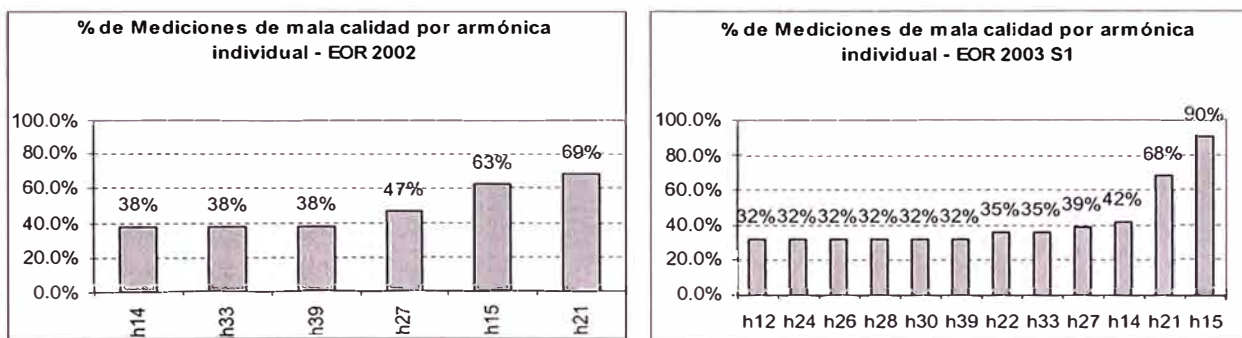


Fig.6.35 Porcentaje de mala calidad por armónica individual ELECTROORIENTE

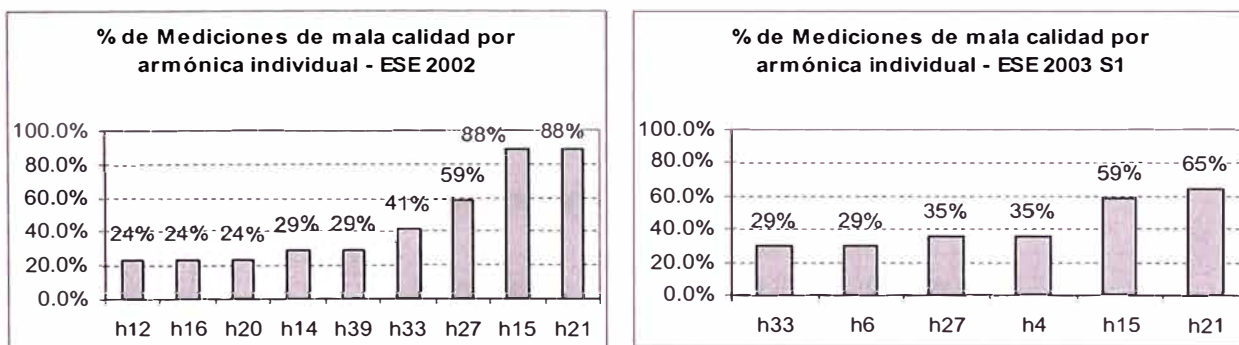


Fig.6.36 Porcentaje de mala calidad por armónica individual ELECTRO SUR ESTE

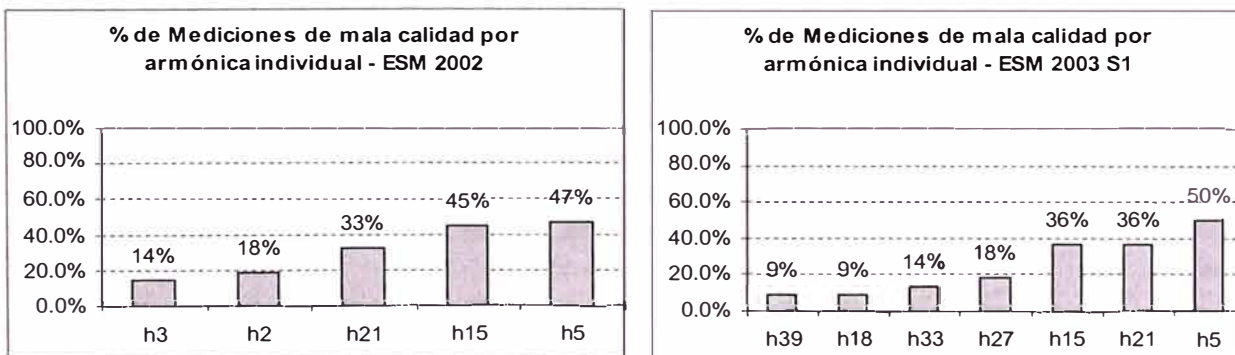


Fig.6.37 Porcentaje mala calidad por armónica individual ELECTRO SUR MEDIO

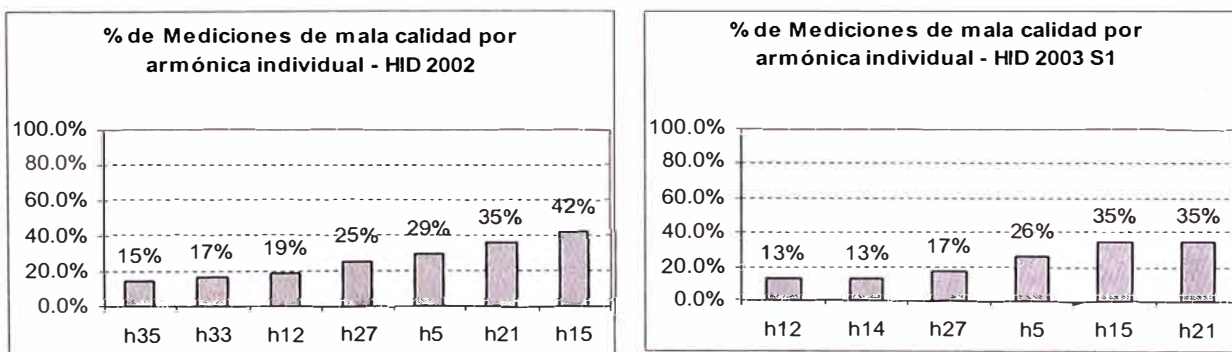


Figura 6.38 Porcentaje de mala calidad por armónica individual HIDRANDINA

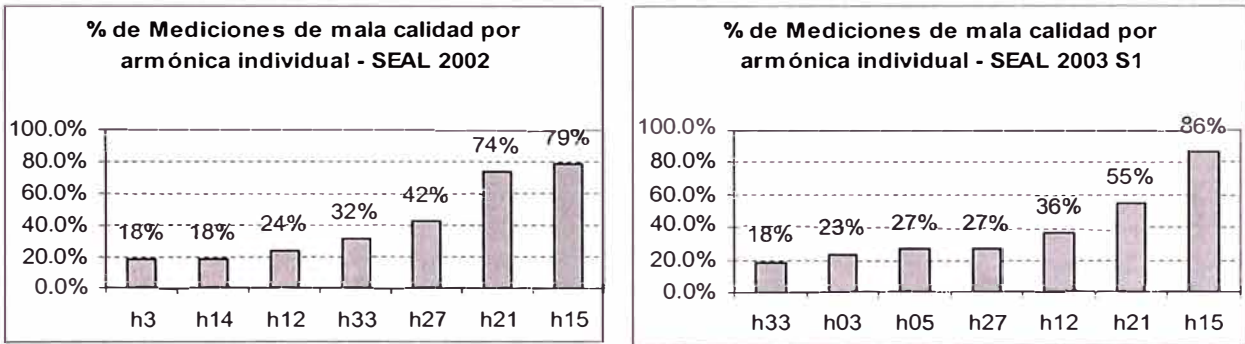


Figura 6.39 Porcentaje de mala calidad por armónica individual SEAL

6.5.4 Porcentaje de los límites excedido a lo establecido en la NTCSE por armónico individual.

Armónico 3: Según NTCSE Tolerancia = 5%

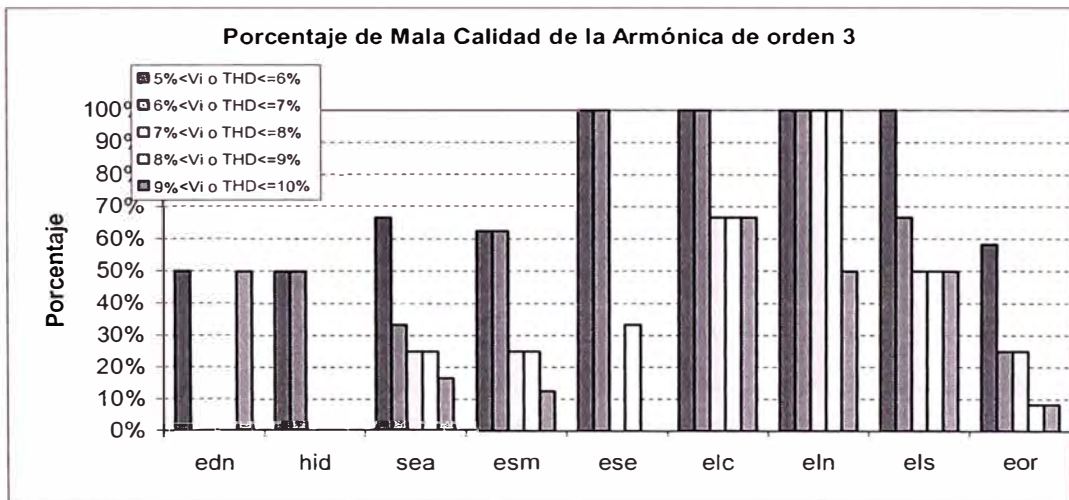


Figura 6.40 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 3

Armónico 12: Según NTCSE Tolerancia = 0,2%

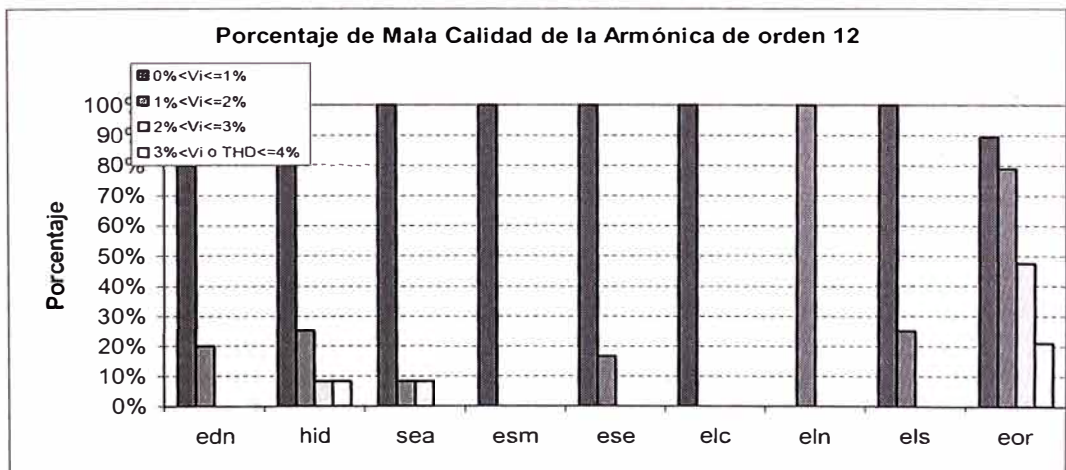


Figura 6.41 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 12

Armónico 15: Según NTCSE Tolerancia = 0,3%

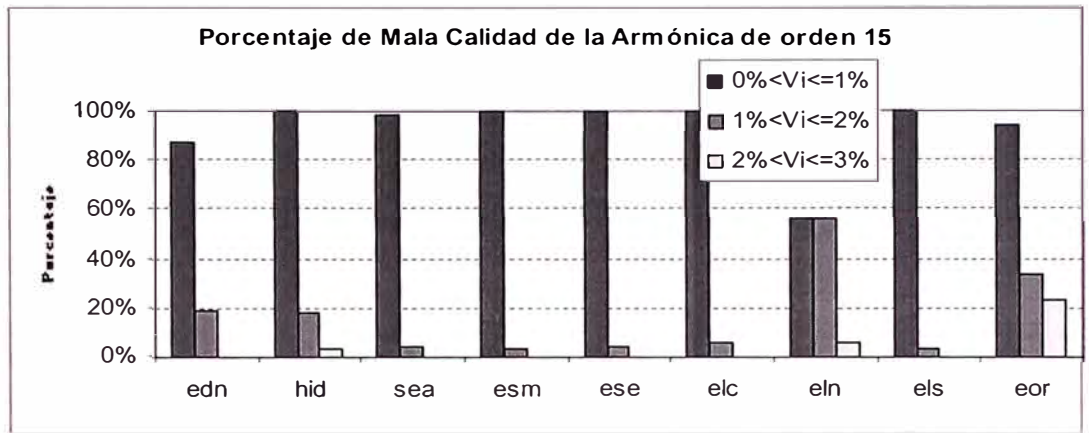


Figura 6.42 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 15

Armónico 21: Según NTCSE Tolerancia = 0,2%

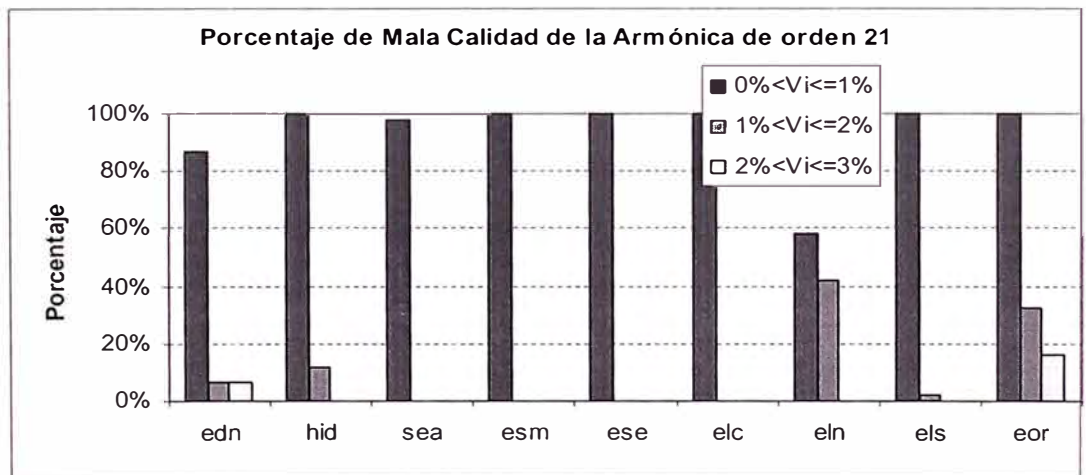


Figura 6.43 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 21

Armónico 27: Según NTCSE Tolerancia = 0,2%

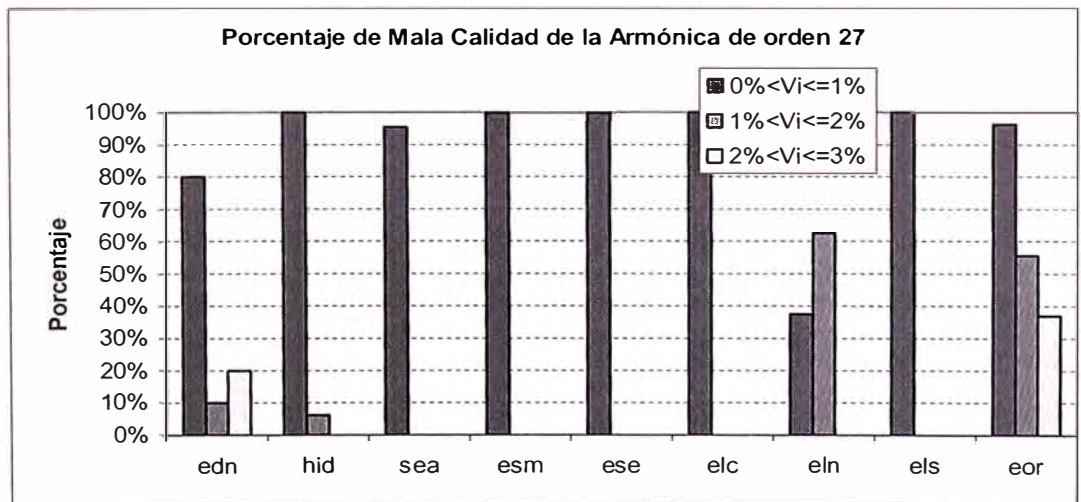


Figura 6.44 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 27

Armónico 33: Según NTCSE Tolerancia = 0,2%

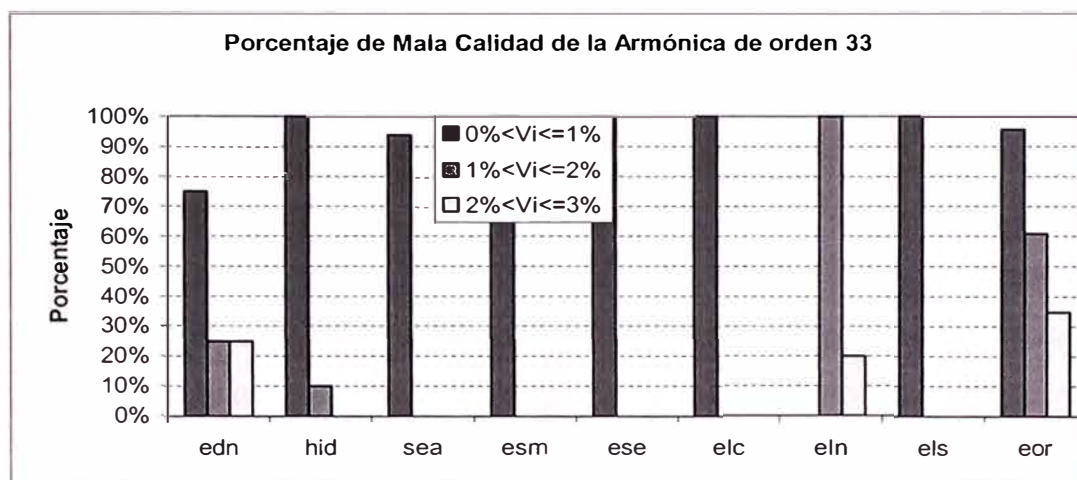


Figura 6.45 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 33

Armónico 39: Según NTCSE Tolerancia = 0,52%

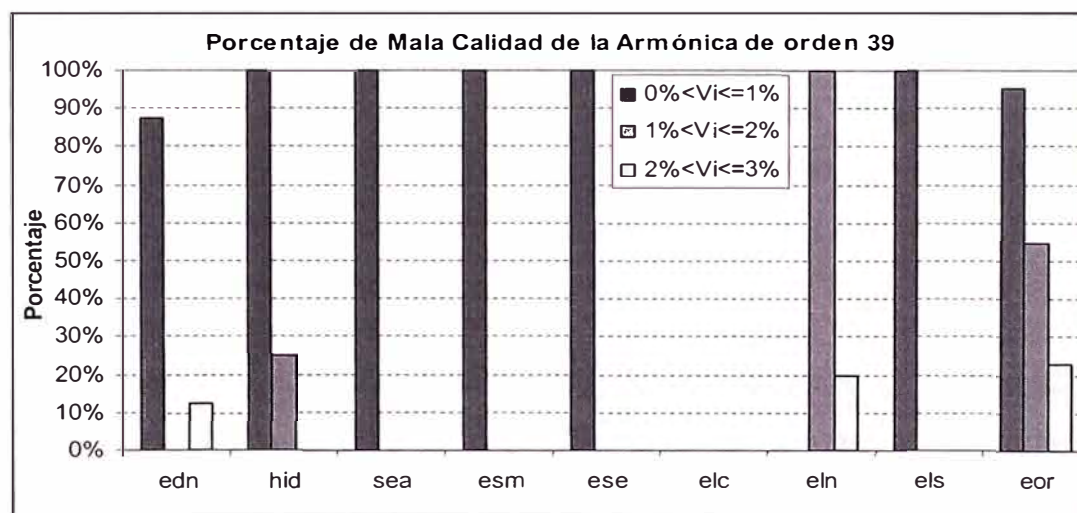


Figura 6.46 Porcentaje de Mala Calidad de la Armónica 39

6.6 Análisis de las Mediciones de Perturbaciones por Parte de las Empresas Concesionarias del Perú.

De las mediciones realizadas por parte de las concesionarias del Perú, daremos a conocer en que lugares y que concesionarias son las que presentan un mayor índice de perturbaciones referido al flicker y las armónicas y el indicador con mayor frecuencia o el límite excedido de acuerdo a la actual Norma Técnica de Calidad de los Servicios eléctricos en el Perú.

6.6.1 Análisis del Flicker.

- De las mediciones realizadas por las concesionarias del Perú sobre el Flicker en las SED y en los clientes en MT, podemos observar que el mayor porcentaje se da en la zona Sur del país, esto es por parte de las concesionarias EDECAÑETE y ELECTRO SUR MEDIO llegando a un 100% la mala calidad, es decir cualquier medición de Flicker realizada en esas zonas de concesión resulta con mala calidad relacionado al Flicker, esto es respecto a la actual Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos en el Perú, como ya se dijo debido a la gran influencia de Aceros Arequipa en la parte sur del país.

Asimismo las concesionarias ELECTROSUR con un 60%, ELECTRO PUNO con un 50%, en la parte Norte del país tenemos a HIDRANDINA con un 65%, esta última debido a la influencia de SIDER PERÚ.

En Lima tenemos a EDELNOR y LUZ DEL SUR con un 2% en promedio de mala calidad, siendo relativamente bajo a pesar de que en Lima existen siderurgicas que producen un gran contenido de Flicker tal es el caso de MEPSA, pero en Lima como el nivel de cortocircuito es alto no es notorio la presencia de Flicker.

- Después de revisado los archivos fuentes de las mediciones de Flicker en las concesionarias del Perú en donde se detectó un mayor índice de presencia de Flicker desde enero del 2002 a junio 2003, se realizó una investigación más a fondo de las mediciones en donde se detectaron mala calidad y las que fueron reportadas por las empresas concesionarias, es decir excedieron la tolerancia admitida del 5% por la actual NTCSE ($PST > 1$), se efectuó un análisis del mismo y se desarrollo el siguiente cuadro:

TABLA 6.27 COMPARACIÓN DE VALORES DE PST > 1

Empresa	Nº medic. mala calidad	PST <=1	1<PST PST<=1.3	1.3<PST PST<=1.6	1.6<PST PST<=1.9	1.9<PST PST<=2.2	2.2<PST PST<=2.5	2.5<PST PST<=2.8	2.8<PST
ELECTRO SUR MEDIO	348	53%	16%	14%	9%	4.3%	1.7%	0.7%	1.3%
EDECAIETE	11	57%	20.5%	11.5%	4.8%	2.1%	0.8%	0.3%	3.0%
HIDRAIDIA	568	62%	16.5%	11.1%	5.5%	2.05%	0.75%	0.45%	1.65%
ELECTRO SUR ESTE	53	53.5%	13.5%	9.5%	6.6%	5%	3.9%	2%	8%

En este cuadro se ha colocado el porcentaje promedio de mala calidad donde se han excedido los límites es decir $PST > 1$ y se ha disgregado en intervalos mayores a la tolerancia tal es así que el 5% correspondería a los intervalos en donde el $PST > 1,9$, es decir que una medición de mala calidad de los 1008 intervalos registrados 5% (51 intervalos) corresponden a $PST > 1,9$.

Cabe precisar que se realizó un recorrido por las zonas aledañas con presencia de Flicker en donde se observó que la presencia de este es mínima y no es lo que corresponde a una medición es decir las tolerancias no son las que deben ser. Tal es así que si hubiese sido real las tolerancias que actualmente tenemos causaría un gran impacto en las personas que viven cerca a estas zonas.

6.6.2 Análisis de Armónicos.

- De las mediciones realizadas por las concesionarias del Perú sobre Armónicas en las SED y en los clientes en MT, podemos observar que el que tiene mayor contenido de armónico es la concesionaria ELECTRO SUR con un 65% de mala calidad, esto es respecto a la actual Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos en el Perú.

Asimismo las Armónicas individuales que predominan en mayor proporción en el Sistema Eléctrico Peruano son la armónica individual 3, 12, 15, 21, 27, 33 y 39, siendo las empresas

Eléctricas que mayor influencia tienen son EDELNOR, HIDRANDINA, SEAL, ELECTRO SUR MEDIO, ELECTRO SUR ESTE, ELECTRO CENTRO, ELECTRO NORTE, ELECTRO SUR Y ELECTRO ORIENTE.

CAPITULO VII
NORMAS GUÍA SOBRE LÍMITES DE PERTURBACIONES DE OTROS
PAISES Y COMPARACIÓN CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA
TÉCNICA DE CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DEL PERÚ

7.1 Propósito de los Estándares.

El propósito de las guías y estándares relacionados con la limitación de las armónicas en los sistemas eléctricos de potencia puede resumirse en la necesidad de:

- i) Controlar la distorsión de tensión y corriente a niveles que los equipos conectados al sistema puedan tolerar.

- ii) Garantizar que los clientes tendrán una tensión con una forma adecuada a sus necesidades.

- iii) Limitar el nivel de distorsión que un cliente puede introducir a la red.

- iv) Asegurar que las armónicas no interfieran con otros sistemas, tales como los sistemas telefónicos.

7.2 Revisión de los Estándares de Flicker de algunos Países.

7.2.1 Método Británico

Este método se basa en la modulación de voltaje de una fuente de 60 Hz, “V60”, de manera que el valor instantáneo es modulado por una señal aleatoria llamada voltaje de fluctuación, “Vf”. El valor RMS del voltaje de fluctuación es representado por una variable llamada Vf y está expresado como un porcentaje del voltaje de la fuente de 60 Hz.

$$V_f = \frac{V \text{ efectivo de la fluctuación}}{V_{RMS} \text{ de la Red.}} \dots(7.1)$$

Después de varios experimentos se ha verificado que para porcentajes de Vf entre 0,2 y 0,25% se produce una perturbación perceptible por el ojo y aún tolerable. Para porcentajes mayores que 0,30% la perturbación visual es molesta. Estos límites no son suficientes para evaluar los efectos del flicker por su comportamiento de naturaleza aleatoria. Una descripción más real del fenómeno se logra con un modelo estadístico. Una combinación de los valores grabados de la fluctuación de voltaje y un adecuado modelo estadístico del fenómeno, proveen de medios para obtener la Función de Probabilidad Acumulada FPC y la correspondiente Función de Probabilidad Acumulada Complementaria. FPCC.

Para esto es necesario realizar una clasificación de los datos en clases de acuerdo al valor de Vf. Para cada clase se propone un rango de valores porcentuales entre los que puede estar ubicado el valor de Vf y se anota la cantidad de veces que dicho valor de Vf está en dicha clase. Finalmente a partir de esta tabla se obtiene la Función de Probabilidad Acumulada y su correspondiente Función de Probabilidad Complementaria.

Hay que agregar que para obtener resultados cercanos a la realidad se debe medir por un lapso de tiempo prolongado, que permita establecer los

ciclos de las variaciones de la carga. En base a este tratamiento estadístico se obtiene el valor de V_{fg} , que corresponde al valor de V_f no superado más del 1% del tiempo de observación. El nivel de Parpadeo se considera aceptable si V_{fg} cumple con los límites de la tabla:

TABLA N° 7.1 MÉTODO BRITÁNICO

Rango de Voltaje	≤ 138 kV	> 138 kV
V_{fg} (Gauge-Point-Voltaje)	$\leq 0,25$ %	$\leq 0,20$ %

7.2.2 Método Francés

Este método usa una estrategia basada en la ponderación de los valores de fluctuación de voltaje. La idea es transformar cualquier oscilación de voltaje con una frecuencia en el rango de 1 a 25 Hz, a una oscilación equivalente con una frecuencia de 10 Hz.

Para esto el método propone una Curva de Ponderación de Frecuencia. Esta curva de ponderación se puede entender como un filtro centrado en los 10 Hz.

De la curva de Ponderación, el voltaje equivalente es obtenido de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$a_{10} = \left(\left(\sum_{j=0.5}^{j=25} a_j^2 g_{f_j}^2 \right) / n \right)^{1/2} \quad \dots\dots(7.2)$$

Donde:

a_{10} = La magnitud de voltaje equivalente para la frecuencia de 10 Hz.

a_j = Magnitud de la fluctuación de voltaje en la frecuencia f_j .

g_{f_j} = Coeficiente de ponderación correspondiente a f_j .

y se establece un límite de perceptibilidad del parpadeo en :

$$a_{10} = 0.3 \%$$

Este criterio surge de experiencias recogidas en la evaluación de la tolerabilidad de observadores expuestos a iluminación incandescente alimentada por una red sometida a los disturbios provocados por hornos de arco.

Al cuantificar la variación luminosa, el método francés usa lo que se llama la Dosis Unitaria de Parpadeo.

TABLA N° 7.2 MÉTODO FRANCÉS

Límite de Tolerancia	Dosis Unitaria (1 min)	Dosis Acumulada G(t) (15 min)
	<0,09 (%)2 x min	<1,35 (%)2 x min

7.2.3 Método Standard (UIE, IEC 868)

Este método, propuesto por UIE (International Electrothermy Union), busca Internacionalizar un criterio de medición. Flexible y amplio, este método incluye las principales características de los métodos francés e inglés.

El método Standard utiliza la función FPC, “Curva de Probabilidad Acumulada”, que ya apreciamos en la definición del método Inglés, como una manera de representar la severidad del nivel de flicker. Para esto, es necesario definir dos nuevas variables:

PST = Severidad de Parpadeo a Corto Plazo

PLT = Severidad de Parpadeo a Largo Plazo

El PST

El PST o término corto de probabilidad, es adecuado cuando se analizan perturbaciones de una fuente. Se define por la ecuación:

$$PST = (0,0314P_{0.1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50})^{1/2} \dots 7.3$$

P_j = Nivel excedido para $i\%$ del tiempo registrado tomado de la curva de función de probabilidad acumulada acumulativa FPCC.

Equivalen a los percentiles de la curva de Probabilidad Acumulada. Los coeficientes de ponderación indicados corresponden a un PST =1 con la curva de perceptibilidad del parpadeo especificada en la norma IEC-555-3.

El PLT

Para aparatos generadores de perturbaciones que poseen ciclos de trabajo superiores al período de observación de 10 minutos, fijado para evaluar la severidad de parpadeo a corto Plazo (PST), por ejemplo hornos de arco, se debe establecer una metodología de cálculo apropiada. Se busca una metodología equivalente a la ya establecida y se define el término de Severidad a Largo Plazo, PLT, y que se plantea en función de la PST, y se define por:

$$PLT = \left(\frac{1}{N} \right) \left(\sum_{j=1}^N (PST_j)^3 \right)^{1/3} \dots (7.4)$$

Donde:

PST_j = Es el PST del j -ésimo período de 10 minutos.

N = Cantidad de intervalos de 10 minutos considerados.

7.2.4 Método Empleado por Endesa

ANÁLISIS DE SEÑALES DE FRECUENCIA MENORES QUE 50 HZ.

ENDESA incluye en sus contratos con clientes industriales una cláusula restrictiva del contenido máximo de variaciones lentas, según una tabla de límites máximos que dependen de la frecuencia de la perturbación.

TABLA N° 7.3 LIMITES DE VARIACION DE TENSION ADMISIBLE $\delta V\%$ (N) FRECUENCIA VARIACIÓN DE TENSION %

FRECUENCIA	VARIACIÓN DE TENSION %
$5 \leq N$ (Fluctuaciones/seg)	$\delta V < 0.4$
$1 \leq N$ (Fluctuaciones/Min) < 300	$\delta V < 1.7 - 0.5248 \text{ Log } N$
$1 \leq N$ (Fluctuaciones/Hora) < 60	$\delta V < 5.0 - 1.8559 \text{ Log } N$
N (Fluctuaciones/Hora) < 1	$\delta V < 5.0$

Las variaciones de tensión que se consideran son de una frecuencia variable menor o igual a 25 Hz. El efecto de frecuencias mayores se trata en otro apartado (armónicas).

El efecto de la perturbación lenta que se considera se representa como una modulación sinusoidal de la onda de tensión de 50 Hz nominales, variando su amplitud con una frecuencia $F_k \leq 25$ Hz.

MÉTODO DEL VALOR EFECTIVO

Consiste en muestrear la tensión instantánea a la salida del transformador de potencial con una frecuencia de 1 KHz, calculando su valor efectivo en cada ciclo, durante 10 minutos.

El período T será de aproximadamente 20 milisegundos y se calcula detectando las intersecciones de la señal de tensión con la salida de un filtro pasabajos de 75 Hz.

El cálculo se repite ciclo a ciclo llevando un registro $RMS(t)$ con el cual se detecta el valor máximo, valor mínimo y duración de cada ciclo la señal de valores efectivos.

La diferencia entre valor máximo y mínimo mide la magnitud de la perturbación de tensión siendo su frecuencia “instantánea” igual al inverso de la duración detectada.

Se emplea un filtro digital pasabajo recursivo para eliminar el efecto de las variaciones de frecuencia mayores que 50 Hz y para detectar las duraciones de los ciclos de la tensión nominal y de la perturbación o “flicker”.

Se indica que este método de valor efectivo ha sido adoptado por Endesa, debido a su simplicidad y excelente estabilidad numérica, lo cual permite su utilización en un procedimiento de medición permanente del nivel de flicker en línea y en tiempo real.

Una vez calculados todos los valores RMS de la medición realizada, se procede a determinar el valor medio de ellos con el fin de tener un nivel de referencia, a partir del cual se obtiene el período de las oscilaciones de los RMS ya calculados, así como los valores máximos y mínimos alcanzados durante dicha oscilación.

En último lugar, se calcula el porcentaje de perturbación sufrido por la señal adquirida por cada período de oscilación de los valores RMS según la siguiente relación:

$$\text{Perturbación} = \frac{(\text{VRMS máx.} - \text{VRMS mín.})100\%}{\text{VRMS nominal}} \dots(7.5)$$

Con:

VRMS máx. = Valor RMS máximo alcanzado durante el período de oscilación.

VRMS mín. = Valor RMS mínimo alcanzado durante el período de oscilación.

VRMS nominal = 231 V, por defecto.

7.3 Revisión de los Estándares de Armónicos de Algunos Países.

7.3.1 Alemania Federal

- Aspectos básicos de las recomendaciones alemanas:

i) Una carga no puede generar más armónicas que las estrictamente necesarias para el cumplimiento de sus propósitos técnicos. Esto significa que debe buscarse, considerando adecuadamente los costos, aquella solución que genere la menor cantidad de armónicas.

ii) Cada cliente puede inyectar corrientes armónicas a la red en proporción a su potencia. Esto significa que un consumidor de mayor potencia puede inyectar más armónicas.

iii) No son admisibles aparatos que inyectan corrientes continuas a la red, como por ejemplo rectificadores trifásicos estrella catódica sin transformador de entrada.

- El "nivel aceptable" para las armónicas de tensión U_v (U: tensión, v orden de la armónica) está definido por las curvas de la figura 7.1

En esta figura se establecen distintos niveles para las armónicas impares no divisibles por 3 (curva 1), para las armónicas impares divisibles por 3 (curva 2) y para las armónicas pares (curva 3).

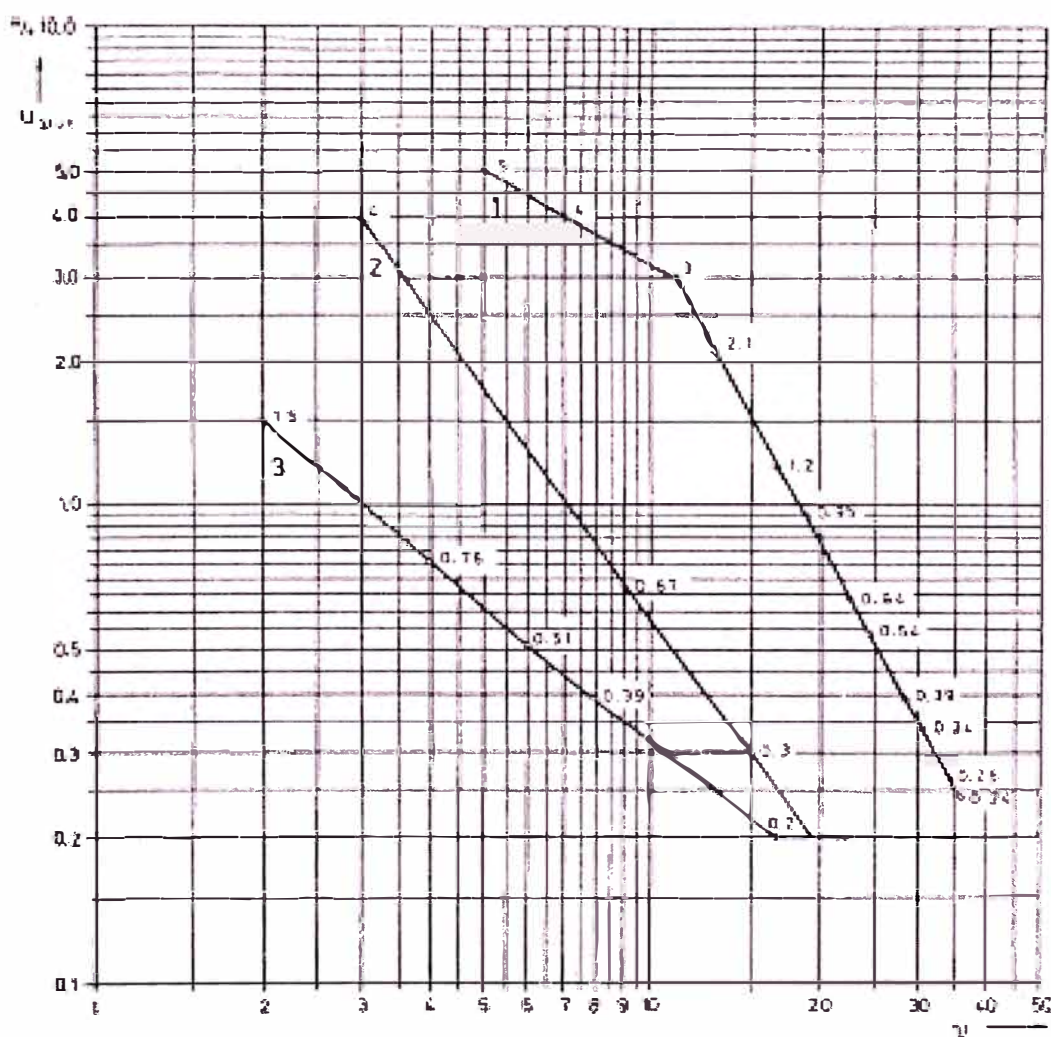


Figura. 7.1. Nivel aceptable para las armónicas de tensión, según el estándar alemán.

- Curva 1: Armónicas impares no divisibles por 3.
- Curva 2: Armónicas impares divisibles por 3.
- Curva 3: Armónicas pares.
- La suma ponderada de las armónicas debe cumplir.

$$\sum_{v=2} V^2 \times U_v^2 < 0.5 \quad \dots\dots\dots(7.6)$$

- Tensión armónica admisible que puede ser generada por un cliente individual:

$$U_{med} = \frac{U_v \times kN \times kA}{k_{rew}} \quad \dots\dots\dots (7.7)$$

Donde:

U_v : Tensión de la armónica v-ésima referida a la fundamental.

uzul : Tensión armónica admisible para un cliente individual.

kN : Factor de nivel de tensión

kA : Factor de conexión (o de potencias).

k_{rew}: Factor de resonancia

TABLA N°7.4. FACTOR DE NIVEL DE TENSION kN

NIVEL DE TENSION	v = 3n ± 1 - 2,4,5,7,8	v = 3n - 3,6,9...
Alta Tension	0,1...0,3	-
Media Tension	0,4...0,7	-
Baja Tension	0,2...0,3	1,0

El factor de conexión kA se obtiene de la relación:

$$kA = \frac{S_{consumida}}{SN} \quad \dots\dots\dots(7.8)$$

Donde:

Sconsumida : Potencia demandada por el cliente.

SN : Potencia nominal de la red. Esta potencia puede ser igual a la potencia del transformador que alimenta a la barra.

7.3.2 Suecia

En el documento "SEF Thyristor Committee Report" se limita la capacidad de convertidores en sistemas de tensiones de hasta 24 KV como sigue:

TABLA N° 7.5. CAPACIDAD DE CONVERTIDORES QUE PUEDEN SER CONECTADOS

NÚMERO DE PULSOS	PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DEL SISTEMA
<6	0,5
6	1,0
12	2,0
>12	3,0

Las restricciones para la distorsión armónica total (THD) dependen de la tensión del sistema de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA N° 7.6 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL THD

TENSIÓN DEL SISTEMA	PORCENTAJE DE THD (%)
430/250 V	4,0
3,3 kV a 24 kV	3,0
Hasta 84 kV	1,0

7.3.3 Estados Unidos

En Estados Unidos los límites de armónicas están establecidos por el estándar IEEE Std 519 del año 1992 (revisión de IEEE Std 519 del año 1981), titulado “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System”.

- RECOMENDACIONES DADAS POR IEEE

La adherencia estricta a estas recomendaciones no siempre evitaría problemas, particularmente cuando son aproximados a los límites. Es razonable considerar que el sistema cambia a menudo, justificando una nueva examinación. Mediciones de armónicas deberían ser ejecutadas de vez en cuando, para determinar el comportamiento del sistema y el rendimiento de los equipos. El cliente debería confirmar:

- . Que condensadores para corregir el factor de potencia o filtros de armónicas no sean sobrecargados por un exceso de armónicas.
- . Que las perjudiciales resonancias series o paralelas, no están presentes.
- . Que el nivel de armónicas en PCC y en los puntos de utilización no sea excesivo.

TABLA N° 7.7. LÍMITES DE DISTORSIÓN DE VOLTAJE IEEE STD.
519 – 1992

Voltaje Bus a Pcc	Distorsión individual de Tensión (%)	Distorsión total de Tensión (%)
< 69 kV	3,0	5,0
>69 kV y < 161 kV	1,5	2,5
>161 kV	1,0	1,5

7.3.4 Finlandia

A través del documento "Restriction of harmonics in Electrical Networks" se coloca límites a la distorsión armónica total permitida y a niveles de armónicas individuales en el punto de conexión.

TABLA N° 7.8 LÍMITE DE ARMÓNICAS POR TENSIÓN

TENSIÓN DEL SISTEMA	THD DE TENSIÓN (%)	NIVEL DE ARMÓNICAS INDIVIDUALES (%)
1 kV	5	4
3 - 20 kV	4	3
30 - 45 kV	3	2
110 kV	1.5	1

7.3.5 La norma IEC 555-2

En el pasado los equipos de baja potencia no encontraban prácticamente ninguna limitación para conectarse a la red. Esto permitió que equipos como televisores se conectaran indiscriminadamente a la red, generando una importante cantidad de armónicas. Para corregir esta situación, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por su nombre en inglés) puso en vigencia a partir de 1995 la norma IEC 555-2, destinada precisamente a los equipos de baja potencia.

Esta norma define la categoría de equipos clase D, que son todos aquellos equipos que tienen una corriente de entrada contenida dentro de la "forma de onda especial" mostrada en la figura 7.2.

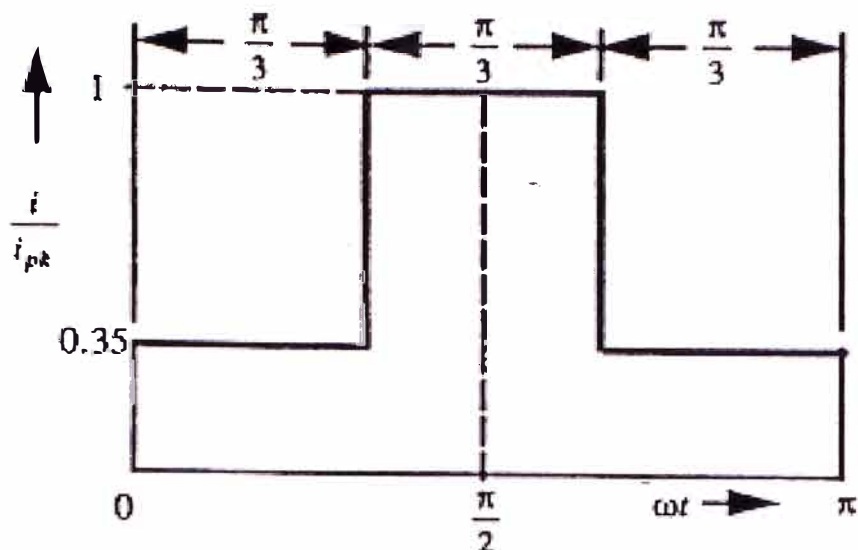


Figura 7.2 Forma de onda especial definida para los equipos clase D.

Esta definición está claramente dirigida a los equipos que tienen un rectificador con filtrado capacitivo.

7.3.6 La Norma Chilena

Armónicas de Voltaje

En condiciones normales de operación, se deberá cumplir para un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos que:

El 95% de los valores estadísticos de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión total, cumplen con lo indicado en la tabla siguiente. El valor estadístico de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión es obtenido para cada intervalo de diez minutos, como resultado de evaluar estadísticamente un conjunto de mediciones efectuadas en dicho intervalo, de acuerdo a lo establecido en la norma correspondiente.

TABLA N° 7.9. ARMÓNICAS DE VOLTAJE, PERMITIDAS POR LA NORMA CHILENA.

ARMÓNICAS IMPARES NO MÚLTIPLO DE 3			ARMÓNICAS IMPARES MÚLTIPLO DE 3			PARES		
Orden	Armónica voltaje (%)		Orden	Voltaje (%)		Orden	Voltaje (%)	
	<= 110 kV	> 110 kV		<= 110 kV	> 110 kV		<= 110 kV	> 110 kV
5	6	2	3	5	2	2	2	1.5
7	5	2	9	1.5	1	4	1	1
11	3.5	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	3	1.5	21	0.2	0.2	8	0.5	0.2
17	2	1	≥21	0.2	0.2	10	0.5	0.2
19	1.5	1				12	0.2	0.2
23	1.5	0.7				≥12	0.2	0.2
25	1.5	0.7						
≥25	0.2+1.3*25/h	0.2+0.5*25/h						

Al aplicar la estadística del 95% a los valores registrados del índice de distorsión total armónica, se debe cumplir, para un registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos y para tensiones iguales o inferiores a 110 kV, que este índice deberá ser inferior a 8% (THDV < 8%).

Al aplicar la estadística del 95% a los valores registrados del índice de distorsión total armónica, se debe cumplir, para un registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos y para tensiones superiores a 110 KV, Armónicas en Sistemas Eléctricos que este índice deberá ser inferior a 3% (THDV < 3%). y se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Índice de distorsión total} = \left(\sqrt{\sum_{i=2..40} (V_i^2 / V_1^2)} \right) \cdot 100\% \dots\dots\dots(7.9)$$

7.4 Comparación de los Límites del Perú con Otros Países.

La metodología de la UIE establece un nivel de percepción de PST (Short term flicker severity) así como también define el Plt (long term flicker severity), para cargas que varían aleatoriamente como es el caso de los hornos eléctricos. El nivel de PST= 1 es un medio para medir el nivel de severidad, la UIE indica específicamente que no propone un valor límite para el Pst siendo esto una función de las entidades Normativas.

En el informe de la UIE, en la parte correspondiente a experiencias de aplicación en hornos eléctricos, se hace mención de la relación entre la potencia de cortocircuito del horno y de la red. Al respecto en los casos estudiados se aprecian los niveles de cortocircuito de la red.

TABLA N° 7.10 NIVELES DE CORTOCIRCUITO

País	Año	Tensión KV	Potencia CCMVA
Bélgica	1983	220	6000
Italia		220	12 900
Japón		154	1 700
Japón		77	1 500
Suiza	1982	220	7 000
Trinidad Tobago			1 5000
Francia	1984	63	602

Como podrá apreciarse, en los casos estudiados los niveles de cortocircuito de la red en el punto de conexión son mucho mayores que el existente en el sistema de transmisión Peruano. Esta situación se ve confirmada con la información de otras siderúrgicas indicadas en el cuadro siguiente:

TABLA N° 7.11

Planta	Potencia de cortocircuito mínimo MVA
Saudi Iron & Steel Hadeed	3500 MVA en 220KV. 60 Hz
Pt. Krakatou Steel Indonesia	4 000 MVA en 150KV. 50 Hz
Arbed Schifflingen Luxembourg	5 000 MVA en 220 KV. 50 Hz
Gallatin Steel USA	7 500 MVA en 345 KV. 60 Hz
Al Ezz Egypt	5 500 MVA en 220 KV. 50 Hz
USIBA Brasil	3 000 MVA en 230 KV
Dedini Brasil	3100 MVA en 138KV
S. Barra Mansa Brasil	3100 MVA en 138 KV
Siderca Argentina	3 000 MVA en 220 KV.

En la actualidad se están revisando y cada país está analizando el nivel a definir, La Norma Europea en 50160 considera para la baja tensión un nivel de $Plt \leq 1$ en el periodo de una semana para el 95% en condiciones normales.

7.5 Observaciones.

Los estándares de los diversos países son muy variados entre sí y son el resultado de la experiencia que los investigadores han recogido al analizar el problema de las armónicas.

- Las características de las redes eléctricas y de los consumidores en los diferentes países son, en general, bastante diferentes y por tal razón los estándares sobre armónicas no son directamente comparables.
- Al observar los estándares, se ve que existen criterios sumamente dispares para enfrentar y resolver una misma situación.
- En general, un estándar es el resultado de un acuerdo entre las diferentes partes involucradas.

- En los diferentes países, los estándares tienen generalmente el carácter de recomendación o "práctica recomendada".

- Todos los estándares consideran límites en la distorsión armónica total de tensión y la mayoría de ellos limita las armónicas individuales de tensión.

- Los convertidores estáticos son, sin duda, algunos de los principales contaminantes y, por esa razón, algunas normas fijan un procedimiento o criterio para determinar el tipo y la potencia del convertidor que puede ser conectado al sistema. Un criterio para resolver este problema es llamado "first come, first served", el que permite la conexión de cargas contaminantes en un determinado lugar hasta que no se sobrepasen los límites del sistema.

Con este método, los que llegan primero pueden contaminar más que los consumidores que se conectan después. Incluso puede darse el caso de que un solo consumidor complete la capacidad de contaminación del sistema, impidiendo la conexión de otras cargas contaminantes. Este criterio es usado en Gran Bretaña.

CONCLUSIONES

1. Por todo lo explicado anteriormente. Un nivel elevado de Flicker es aquel que provoca reclamos de los consumidores residenciales.

En cada lugar, dependiendo de una serie de factores culturales y económicos, los valores para percepción del Flicker pueden ser diferentes. Los límites actuales, que adoptan el valor 1 como máximo admisible, tienen que ser revisados porque son completamente irreales, ya que fueron definidos a partir de premisas falsas. Este valor de $PST = 1$, medido en el punto común, no es factible en la producción como hornos de arco, sin provocar ninguna mejora en el standard de vida de la población.

Por otro lado, entendemos que debe existir algún control para evitar casos de real perturbación a los consumidores.

Los valores límites pueden ser definidos más de acuerdo con la realidad. Una vez comprobados valores de PST superiores a los admisibles, se realizó una investigación para verificar la insatisfacción de los consumidores, los que verificado en campo se comprobó que los niveles altos registrados por los analizadores de redes no era lo que reflejaba en las lámparas de los domicilios, pero si existía una pequeña fluctuación, así también se comprobó la insatisfacción de un grupo de consumidores.

2. Se debe realizar e iniciar estudios para disminuir los niveles de perturbación, las soluciones deberían ser estudiadas en conjunto por proveedores de energía y consumidores especiales. Para reducir los niveles de Flicker, el horno podría funcionar con una potencia menor en algunos periodos más críticos y la compañía de electricidad podría reforzar la potencia de cortocircuito en esos horarios. En el caso de los consumidores afectados, si los problemas se restringiesen a un sector no demasiado grande, las lámparas incandescentes podrían ser substituidas por lámparas de otro tipo. En casos de Flicker muy elevado, con disturbios comprobados en sectores amplios, las únicas soluciones serían: aumento de la potencia de corto circuito en el punto común, instalación de estabilizadores de Flicker en el punto común e instalación de estabilizadores de Flicker en la barra de alimentación de la acería.
3. Se propone definir valores admisibles experimentales de PST, medido en el Pcc, del orden de 2,5 a 3,0, para instalaciones existentes. Con estos límites se espera que en los puntos de consumo residencial más próximos a la carga perturbadora, los niveles de Flicker no superen 1,7 y 2,0.
4. Establecer normativas donde no se permitan que grandes siderurgicas se establezcan en partes de la red donde la potencia de Corto Circuito es pequeña, un caso de Lima que puede ser es de la siderurgica MEPSA con gran contenido de Flicker, pero no tiene un impacto importante en la red por estar en la SET Santa Rosa.
5. El Flicker sobresalta especialmente en las lámparas incandescentes de baja tensión en horas punta, pero justamente en estas horas es donde el horno eléctrico de aceros Arequipa no funciona, salvo los domingos, no existiendo apariencia de Flicker. Por lo que el comité que formará el Ministerio de Energía y Minas debería tener en cuenta esta situación para el cálculo de las compensaciones.

6. Es conveniente resaltar que si los niveles de Flicker se atenúan a medida que se alejan del punto de alta tensión donde ocurre la máxima fluctuación, en el caso de las armónicas ocurre exactamente lo contrario, los niveles de distorsión de la onda de tensión se mantienen igual o aumentan a medida que se alejan del punto de conexión en la alta tensión. Por otro lado, las distorsiones causadas por cargas de baja tensión se atenúan a medida que se aproximan de los puntos de alta tensión.
7. Se ha detectado que las empresas con mayor índice de mala calidad en lo referente a las armónicas esta en la parte Sur del País, esto es el caso de las concesionarias ELECTRO SUR esta de cada 10 mediciones realizadas 6 o 7 salen fuera de las tolerancias establecidas en la NTCSE actual equivalente a un 65%, SEAL en un 30%, ELECTRO SUR MEDIO en un 30%, ELECTRO SUR ESTE en un 30% esto es en subestaciones de distribución. (SED).

En clientes de MT y AT la concesionaria ELECTRO SUR a la fecha mantiene un contenido de armónicos de 65%, mientras las otras concesionarias antes mencionadas han disminuido notoriamente a un 10%.

8. Las armónicas con mayor participación en el Sistema Eléctrico Peruano son armónicas individuales de orden 3, 12, 15, 21, 27, 33 y 39 las cuales deben ser analizados por el comité que se formará de acuerdo al MEM y la influencia de estos. Cabe precisar que para tener una mayor visualización de ello se debe realizar mediciones simultáneas en diferentes partes del Perú. Para el caso de Lima no se ha detectado casos grandes con alto contenido de armónicos.
9. En aquellos casos especiales encontrados con trasgresión deberán analizarse y resolverse puntualmente. El valor económico dependerá de la solución adoptada para cada caso.

10. Se recomienda adoptar en el futuro normas propias para el suministro a grandes clientes, que incluyan especificaciones sobre perturbaciones y que deben ser incorporadas a los respectivos contratos.

En particular la elaboración de un procedimiento de análisis previo al otorgamiento del suministro a usuarios potencialmente con perturbaciones permitiría mantener bajo control la situación, anticipando situaciones comprometidas y estableciendo exigencias para cada usuario en particular.

ANEXO

El objetivo de este apartado es presentar los algoritmos numéricos relacionados con la medida digital del Flicker. No se pretende abordar aquí aspectos relativos a la problemática de la generación y penetración de este tipo de perturbación en las redes eléctricas, dado que ambos tipos de problemas quedan fuera del ámbito de esta tesis.

Instrumentación para la medida de perturbaciones conducidas en sistemas eléctricos de potencia C2-41.

El diccionario de IEEE [47] define al Flicker como la impresión que percibe un observador, en lo que a brillo o color se refiere, cuando observa el efecto de una fluctuación cuyo espectro en frecuencia varía desde unos pocos Hz hasta la frecuencia de fusión de imágenes, que se encuentra alrededor de los 30 Hz.

Queda reflejado en la normativa [21], como el índice que caracteriza el nivel de FLICKER indica, de forma cuantitativa, la percepción que tienen las personas de las fluctuaciones temporales de intensidad luminosa que sufren las fuentes de luz, especialmente, aquellas más próximas por su inercia eléctrica al comportamiento del sistema que gestiona la visión humana, esto es, al conjunto ojo más cerebro humano. Desde un punto de vista fisiológico, estas variaciones producen una sensación de inestabilidad visual, que

aumenta la fatiga de las personas que utilizan luminarias cuya alimentación está sometida a este tipo de problemática.

Desde una perspectiva electrotécnica, las fluctuaciones de intensidad luminosa están provocadas por una variación del valor eficaz de la tensión de alimentación de dichas luminarias.

Estas variaciones del valor eficaz de la tensión, se conocen en el ámbito eléctrico como fluctuaciones de tensión, que pueden tener un carácter periódico o transitorio en función de su origen.

La Comisión Electrotécnica Internacional ha definido una norma referenciada como CEI 555-3 [49] que clasifica la naturaleza de las fluctuaciones según el tipo de carga y las condiciones de funcionamiento.

En el ámbito europeo, CENELEC ha adoptado como norma europea con la referencia EN 60868 [21], un texto redactado originalmente por la CEI, junto con algunas modificaciones realizadas a principios de los 90, que han sido incluidas en la norma. Las últimas revisiones de la norma han dado lugar al texto CEI 61000-4-15 [48], incluido dentro de la serie de normas 61000 dedicada a compatibilidad electromagnética, que tiene ya oficialidad en el estado Español mediante la transposición a las normas UNE-EN, que conservan la numeración establecida por la CEI. Dicha norma trata la definición funcional y de diseño de un equipo de medida de naturaleza básicamente analógica, aunque también incluye un módulo digital para la clasificación estadística de las medidas y el cálculo de la severidad del FLICKER a corto y largo plazo, que constituyen los índices más utilizados.

El objetivo final del equipo de medida, según la norma EN 50.160 [14], consistirá en proporcionar la severidad del FLICKER a corto y largo plazo. La severidad del FLICKER a corto plazo (Pst), se evalúa utilizando la percepción instantánea de FLICKER durante un periodo de 10 minutos,

mientras que la severidad de FLICKER a largo plazo (Plt) se obtiene a partir de 12 valores de Pst obtenidos durante un periodo de 2 horas.

La guía de aplicación de la norma EN 50.160 [51] especifica que las medidas deben ser realizadas midiendo la tensión de línea en redes de MT y la tensión de fase en redes de BT, aunque indica que la conexión del equipo de medida debe realizarse de la misma forma que estén conectadas las luminarias.

Instrumentación para la medida de perturbaciones conducidas en sistemas eléctricos de potencia C2-42 Como restricción adicional, se indica que el proceso de evaluación debe considerar solamente aquellos valores de Pst evaluados durante un intervalo de tiempo durante el cual, la tensión de alimentación tiene un valor eficaz que se encuentra dentro del $\pm 5\%$ del valor nominal, aunque sigue habiendo discusión acerca de si debe utilizarse la tensión nominal o la declarada.

El límite para el nivel de FLICKER a largo plazo se establece en un valor máximo de 1 para el 95 % de los valores medidos durante un periodo de observación de una semana, incluyendo el sábado y el domingo.

Desde el punto de vista de la implementación de un equipo digital de medida, orientado a la determinación del nivel de FLICKER, el problema se reduce a la discretización de la circuitería analógica que lo constituye, ya que la norma describe la estructura funcional de un equipo de medida analógico. Se trata, por tanto, de un problema de procesamiento digital de señal.

Formas de Medición de Flicker (Parpadeo)

Cómo se Mide el Parpadeo

Si se quiere evaluar la calidad de la señal de tensión respecto al parpadeo, es necesario disponer de algún dispositivo que emule el nivel de sensibilidad

que ofrece una persona cuando percibe visualmente el parpadeo en la luminosidad de las lámparas incandescentes. Este equipo debe reproducir como las fluctuaciones en la señal de alimentación se traducen en fluctuaciones en la luminosidad de las lámparas, debe reproducir además, cómo éstas se “detectan” por el ojo humano y cómo se “procesan” por las personas hasta llegar a alcanzar el umbral de sensibilidad o de molestia.

Las investigaciones destinadas a proponer un modelo adecuado del sistema lámpara ojo- cerebro deben tener en consideración los siguientes aspectos:

*¿Es posible proponer un modelo del comportamiento ojo-cerebro adecuado para cualquier tipo de fluctuación de luminosidad?

*¿Cuál es la constante de tiempo de la memoria a corto plazo del cerebro humano ante destellos luminosos únicos y múltiples?

*¿Cuál es la relación entre la amplitud y la frecuencia de las fluctuaciones periódicas de la luminosidad y el umbral de sensibilidad de las personas, desde un punto de vista estadístico?

*Una fluctuación de luminosidad irregular ¿Qué sensación de Flicker produce?

El flickermetro de la UIE

La Unión Internacional de Electrotecnia (UIE) ha elaborado un criterio de evaluación de parpadeo y un medidor de parpadeo o flickermetro,

Este instrumento, analógico, adoptado por la mayor parte de los países que forman la CEI (Comisión Internacional de la Electricidad) está referido a la sensación de parpadeo percibida tomando como fuente de luz una lámpara incandescente de 60 W y a los sistemas de distribución de baja tensión de 230

V y 50 Hz. El flickermetro se encuentra actualmente normalizado en la norma IEC 61000-4-15, que detalla las especificaciones funcionales y de diseño que tienen que cumplir todos los flickermetros comerciales.

El diagrama de bloques del flickermetro de la UIE es el siguiente:

El adaptador de tensión de entrada (bloque 1).

Escalado del valor medio de la tensión de entrada a una referencia interna.

Demodulador (bloque 2).

Extracción de la señal moduladora a partir, de la onda portadora de 50 Hz.

Filtro de salida del demodulador (bloque 2 y 3).

Su misión es eliminar las señales a frecuencias superiores a las de interés para la percepción del parpadeo. En esta etapa se incluye, además, un filtro paso alto de primer orden (frecuencia de corte de 0,05 Hz) para eliminar la componente de corriente continua.

Filtros de ponderación (bloque 3).

Los filtros de este bloque tienen por misión representar el comportamiento selectivo en frecuencia de la respuesta del ojo a la excitación del “flicker”. La respuesta en frecuencia de esta etapa se muestra en la figura 1.

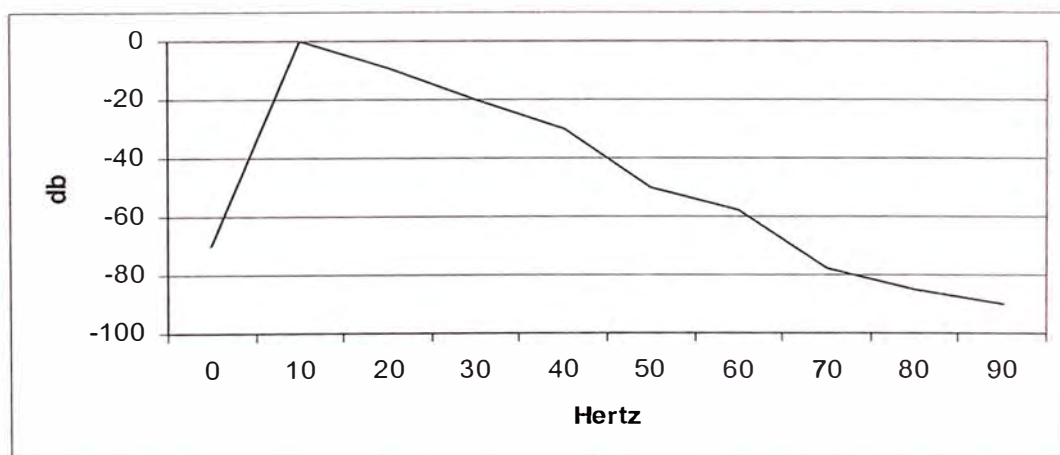


Fig. 1 Respuesta en frecuencia del bloque 3.

El estimador no lineal de la varianza (bloque 4).

Completa el modelo lámpara-ojo-cerebro con una función cuadrática y con una función integradora implementada por un filtro paso bajo de primer orden. A la salida de este bloque se obtiene la sensación instantánea de parpadeo.

Clasificador estadístico (bloque 5).

Para evaluar el grado de molestia que el parpadeo produce en las personas, la UIE propone utilizar dos índices básicos: el Pst, índice de severidad de parpadeo en períodos cortos de tiempo, por ejemplo 10 minutos, y el Plt, que evalúa la severidad de parpadeo a largo plazo, con intervalos de observación de dos horas.

El valor de Pst se expresa en unidades p.u., de modo que para valores de Pst superiores a 1, se considera que el parpadeo es perceptible y por lo tanto es molesto para las personas.

En medidas de conformidad a la norma, el valor de N se toma igual a 12, por tanto, a lo largo de un período de registro de valores Pst de dos horas de duración.

Medidas Correctoras

Los niveles de emisión de parpadeo permitidos a los distintos perturbadores que se conecten a la red eléctrica están normalizados en las siguientes normas de compatibilidad electromagnética IEC 61000-3-3 para dispositivos con corriente nominal inferior o igual a 16 A, IEC 61000-3-5 para dispositivos con corriente nominal superior a 16 A y IEC 61000-3-7, para cargas fluctuantes de alta tensión. Estos valores se observan en la tabla 1.

Desde el punto de vista de la emisión de perturbaciones, es necesario que las fuentes productoras de parpadeo dispongan de dispositivos adecuados que reduzcan estas posibles emisiones, como por ejemplo incorporar

compensadores estáticos que son las medidas correctoras más habituales para instalaciones existentes. En otras situaciones, en especial cuando se trata de una instalación que se conecta a la red eléctrica por primera vez, se puede reducir la emisión de “flicker” con una adecuada elección del punto de conexión PCC.

En la figura 2 se considera el caso de un determinado perturbador productor de parpadeo que puede producir fluctuaciones de potencia desde 0,6 p.u hasta 0,8 p.u. Este perturbador se puede conectar a tres PCC distintos, todos tienen la misma potencia de cortocircuito, pero presentan distintas impedancias en el PCC. El cociente X/R es el cociente entre la reactancia en el PCC y la resistencia en el mismo punto. En la misma figura se observa como las fluctuaciones de tensión que se pueden producir en PCC, pueden ser prácticamente nulas para el caso de $X/R = 2,5$ o bien pueden alcanzar valores hasta del 3% en el caso de redes muy resistivas.

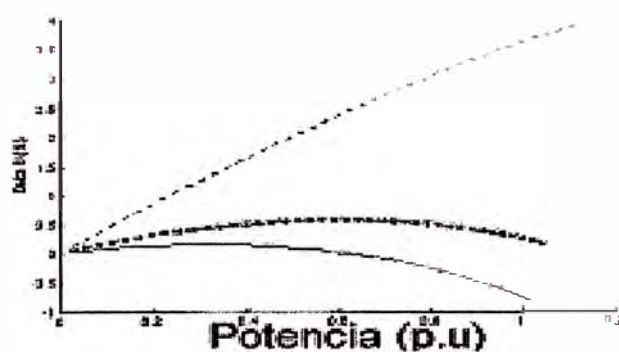


Fig. 2 Fluctuaciones de tensión en función del PCC

Si se hubiera analizado el índice de severidad de parpadeo P_{st} , se hubieran obtenido las siguientes conclusiones (figura 3).

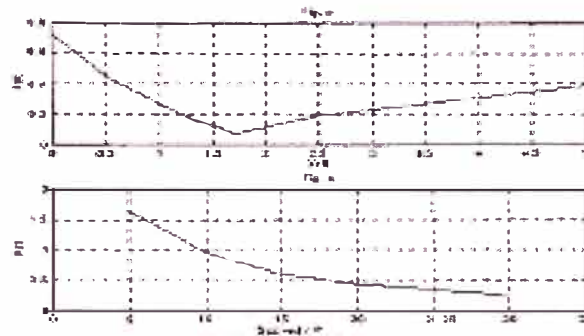


Fig. 3 Indices de severidad de parpadeo para la carga perturbadora de la fig. 4

En la figura 4a se observa que se pueden obtener valores de Pst altos para redes resistivas (considerando en todos los casos un cociente entre la potencia de cortocircuito y la potencia nominal del perturbador de $S_{ccred}/P=20$); en la figura 4b para una impedancia fija se ha variado la potencia de la red a la que se puede conectar, obteniéndose como conclusión, que para redes más débiles los valores de Pst que se pueden alcanzar son mayores.

También se puede reducir el parpadeo actuando directamente sobre los dos factores de los que depende, en las cargas perturbadoras que lo provocan. Dichos factores son, por un lado, la magnitud de la fluctuación de la tensión y, por otro, la frecuencia de dicha fluctuación. A su vez, esta fluctuación viene determinada por fuertes variaciones de corriente que modulan la tensión de suministro. Por tanto, si se lograran suavizar estas variaciones, por ejemplo, mediante el empleo (siempre que sea posible) de dispositivos de potencia limitadores, se reduciría la magnitud de la fluctuación de tensión y, por tanto, el parpadeo. El otro factor del que depende el “flicker”, ya se ha comentado que es la frecuencia de la forma de onda moduladora. Si fuese posible sin afectar a la aplicación, actuar sobre el control de una carga perturbadora, variando la frecuencia de las fluctuaciones del consumo a valores que no tengan efecto molesto sobre la percepción humana, o cuyo efecto se redujera en gran medida, se tendría la otra forma de paliar el parpadeo producido por la carga.

Tendencias

La norma actual de flickermetro sólo recoge, para todos los bloques anteriormente detallados, características de tipo analógico.

La tendencia actual debido al auge de la electrónica digital es obtener un flickermetro digital que se encuentre recogido en una futura norma. Los organismos internacionales de normalización y distintos organismos de investigación están estudiando las características que debería tener este flickermetro digital. Dado que nos encontramos en el campo digital, hay que especificar, claramente, los siguientes parámetros.

- Frecuencia de muestreo.
- Número de puntos de la señal.
- Precisión en todo el margen de frecuencia, incluido en el margen bajo.
- Facilidad para analizar el parpadeo que se produce con otro tipo de lámparas.
- Posibilidad de realizar las mediciones a distancia.

El primer y segundo punto son especialmente delicados ya que una frecuencia de muestreo o un número de puntos bajo puede tener como consecuencia que se tenga mala precisión en la señal adquirida. Por el contrario, si la frecuencia de muestreo es alta, es necesario tomar un gran número de muestras para poder detectar los cambios que se producen en el valor eficaz de la tensión. Si el tratamiento de todas las señales se realiza en el dominio de la frecuencia, se debe contemplar la posibilidad de realizar el inventariado de la señal para evitar el solapamiento de las frecuencias en el margen de interés.

Un problema adicional que se plantea con los flickermetros actuales surge al intentar descubrir el origen del “flicker”, ya que siendo la entrada al flickermetro la señal de tensión en el dominio del tiempo, es imposible

determinar cuál es la componente en frecuencia de la señal de tensión que tiene una contribución más importante en el “flicker” de la señal total.

Esta información sería de gran utilidad ya que gracias a ella se podría mejorar el diseño de las posibles fuentes productoras de parpadeo y por lo tanto disminuir el nivel de parpadeo total que se emite a la red. Una posible solución es permitir que el flickermetro reciba como señales de entrada tanto la señal temporal como el espectro de la señal de tensión, utilizar un flickermetro digital que trabaje en el dominio de la frecuencia, y que obtenga como resultado el índice de severidad Pst. Un esquema posible es el que se observa en la figura 4.

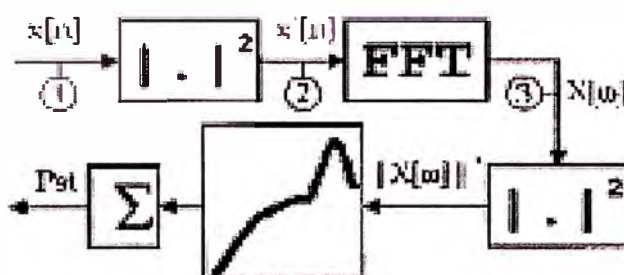
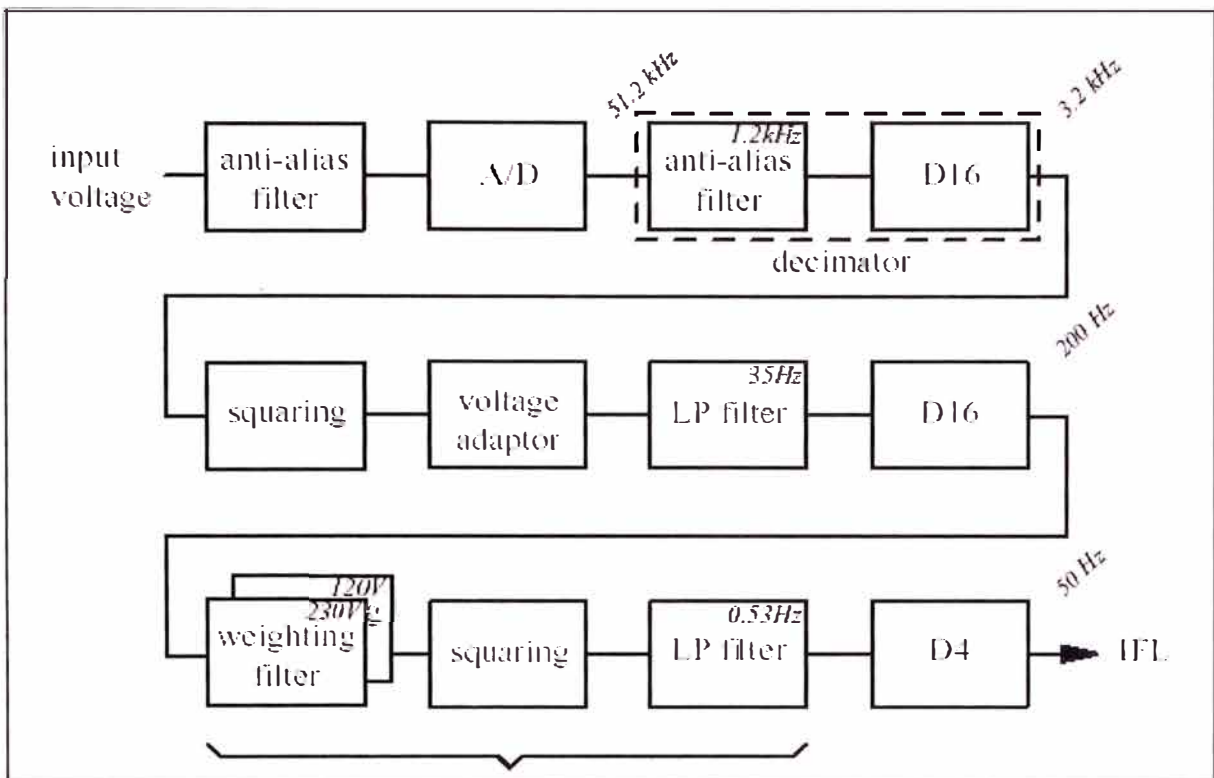


Fig. 4 Esquema de un posible Flicker-metro digital que trabaje en el dominio de la frecuencia.

MEDICIÓN DEL FLICKER EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Los diseños del flickermetro, esta basado en el análogo de IEC la técnica describió en el apéndice. Sin embargo un DSP aplicación requiere un realización totalmente digital.

La correspondientes funciones por todos lo filtros han sido especificados por el IEC. La correspondiente función de transferencia pueden ser obtenidas por el análogo normal a algoritmos de conversión de filtro digitales o el diseño directamente a la especificación.



Modelo de percepción visual

Figure 1. Diagrama de bloques de un digital flickermetro.

Probando la frecuencia puede reducirse entonces digitalmente a un valor apropiado que depende de la aplicación. Los anchos de banda pequeños requieren para el parpadeo dimensiones que permitan una proporción de la muestra inicial una reducción de 3,2 kHz dando un Nyquist de radio de 1,6 kHz que es dos veces el requerido a 700 Hz.

Sobre la muestra que permite ligeramente un ancho más grande, la venda de la transición en el plan de filtro de anti-aliasing debe producir un bajo orden del filtro y evitar los efectos en el aliasing, debido al funcionamiento cuadrado que esencialmente dobla el ancho de banda señalado.

Después de que el estrago de proporción demuestra que el signo se procesa a través del flickermetro real. La función de bloqueo (Figura 1) corresponde a aquéllos del análogo, sólo que la modulación del filtro pasa alto es redundante por la afinación fina, el filtro rechaza completamente.

El adaptador de tensión normaliza el signo originalmente (1 min) valor de la tensión promedio RMS. Subsecuentemente el funcionamiento necesita calcular la tensión RMS, el bloque cuadrado se cambia a preceder el adaptador de tensión que ahora normaliza la señal al valor cuadrado promedio RMS, en cambio como una consecuencia no hay ninguna necesidad de computar la raíz cuadrada. Para el filtro pasa bajo incorporado el adaptador de tensión de orden 1 era escogido.

El sistema de frecuencia fundamental que es el resultado de cuadrar (con una atenuación mayor que 91 dB a 100 Hz) así esta limitación en el ancho de banda permite para un extenso la reducción de proporción de muestra. El error introdujo en reproducir la contestación de magnitud del análogo el filtro pasando por el filtro digital, también se une la proporción probando que le exige a aproximadamente 200 Hz que proporcionara un señal gratuitamente del aliasing.

El flickermetro digital ofrece a la flexibilidad cambiar entre las características del filtro. Los filtros para 120V y 230V de los sistemas, eran los dos llevados a cabo como indicados en la Figura 1.

➤ **Probando la Frecuencia**

El flickermetro digital propuesto emplea el multiradio el uso de la posible proporción de la muestra más baja en cada fase el computacional máximo asegura la eficacia.

Se considera que el flicker es una modulación de amplitud de tensión de sistema de AC que exhibe la frecuencia el espectro de un portador con el tamaño de la banda. Cargas que dibujan las corrientes variantes (por ejemplo los hornos del arco) produce este tipo de perturbación. Bajo esta función y para un frecuencia de fusión de parpadeo máxima de 35 Hz, la onda de frecuencia interesante para las dimensiones del parpadeo se extiende a 85 Hz para un 50 Hz ac sistema (95 Hz para un 60 Hz AC sistema). El ancho de banda de la entrada no debe restringir los flickermetro sin embargo en el rango pequeño hay otros fenómenos que tienen que ser tenidos en cuenta. Los componentes espectrales a las frecuencias armónicas

conversión estática. En la práctica las amplitudes son muy pequeños (debajo de 1%) para que un solo inter armónico es improbable causar el parpadeo perceptible.

El rango de frecuencia interesante se limita por consiguiente aproximadamente 20-80 Hz si solo el inter armónico es considerado al principio. Sin embargo Inter armónicos y armónicos producen el parpadeo notable porque los niveles del parpadeo son aditivos. Por consiguiente el flickermetro deba tener un ancho de banda de la entrada suficientemente alto.

El ancho de banda del flickermetro digital es 1,2 kHz limitado por un 255 orden del anti-aliasing de ABETO de fase lineal filtro diseñado por el Remez intercambio algoritmo. El fin de la banda se extiende de 1,6 kHz que permite una muestra de reducción a 3,2 kHz logrados por un estrago factor de 16 de la proporción de la muestra 51,2 kHz a que el conversor análogo-a-digital de MAPA opera.

Los primeros LP se filtran del flickermetro de IEC que tienen una atenuación de por lo menos 90 dB a 100 Hz y anteriormente atenúa la componente de frecuencia fundamental dos veces. Por consiguiente la proporción de muestra se reduce más allá después del filtro. Los filtros restantes opere a una proporción de la muestra de 200 Hz. El último filtro de LP reduce el ancho de banda señalado de nuevo (1 filtro del orden, $f_{cut-off} = 0,53\text{Hz}$) para que la proporción de la muestra pueda bajarse para minimizar cálculos involucrados en el estadístico a evaluación del IFL. La proporción mínima a que deben proporcionarse las muestras a la evaluación estadística el bloque es 50 Hz.

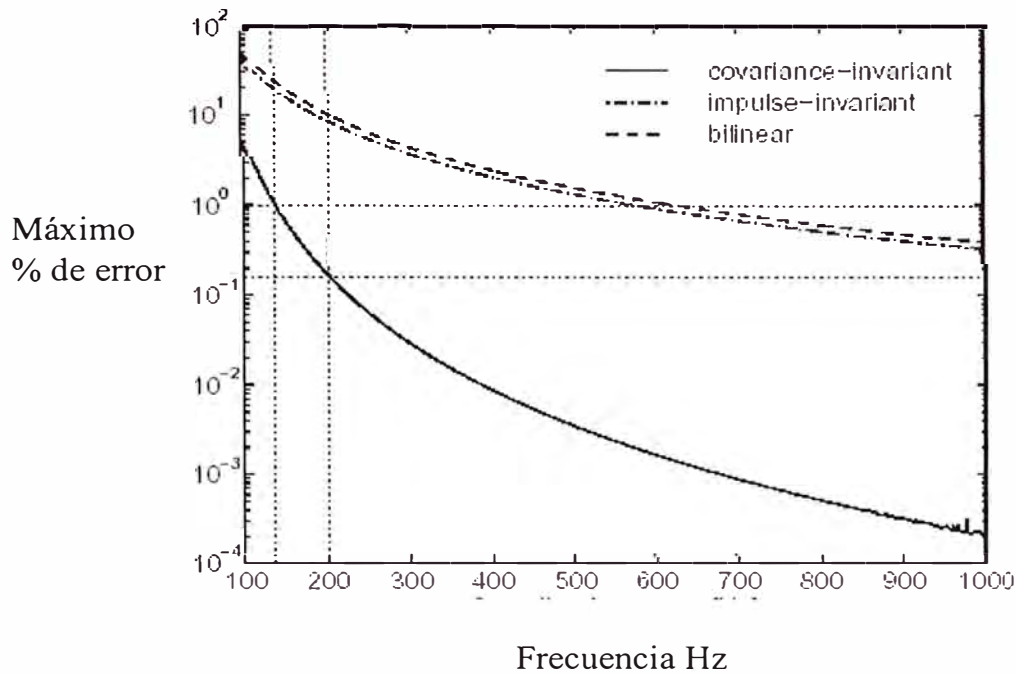


Fig. 2. Comparación de los errores de las magnitudes del filtro digital con la frecuencia.

➤ Prueba de complacencia

Para verificar la complacencia el desarrollamos el flickermetro con la norma de IEC, los regularizamos, las pruebas se hicieron usando MATLAB que simuló el flickermetro y la aplicación del MAPA.

La figura 3 representa (en la línea del sólido) el IFL máximo para que el sinusoidal fluctúe encima del rango de frecuencias y magnitudes especificadas por el IEC. Todos los valores quedan bien dentro del 10% siendo la tolerancia alrededor de una unidad de perceptibilidad. Esto es equivalente al criterio del La norma de IEC que demanda para el rendimiento de unidad cada prueba de la amplitud señalada debe quedar dentro de 5% del el valor de la referencia.

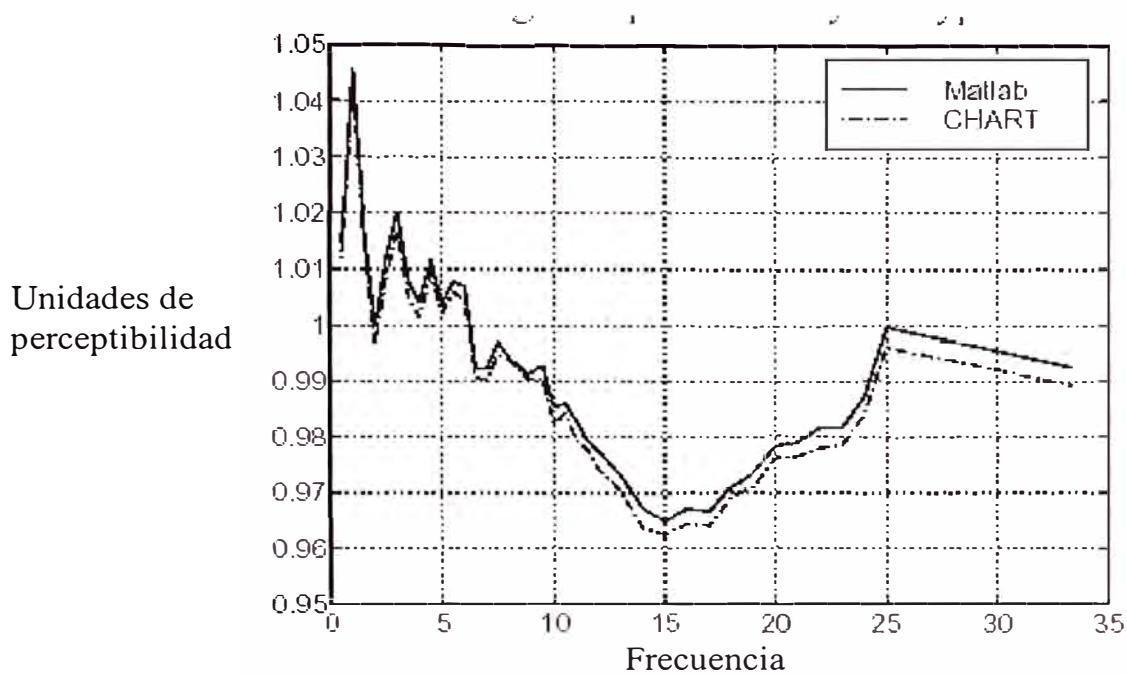


Fig 3. Test de resultados para la simulación del flickermetro.

Esto es escasamente sorprendente desde que ambos sistemas son totalmente diferentes sólo en su número del punto flotando la representación (32 compararon a 64 pedazos).

La suma de un construido signo digital del generador incluso un 16-pedazo digital-analógico el conversor con una resolución de aproximadamente 30 ppm proporcionada la prueba resulta mostrado en Figura 3 (punteó de la línea), claramente ellos emparejan aquéllos de los MATLAB, simulación de resultados bien y queda bien dentro de la tolerancia permitida.

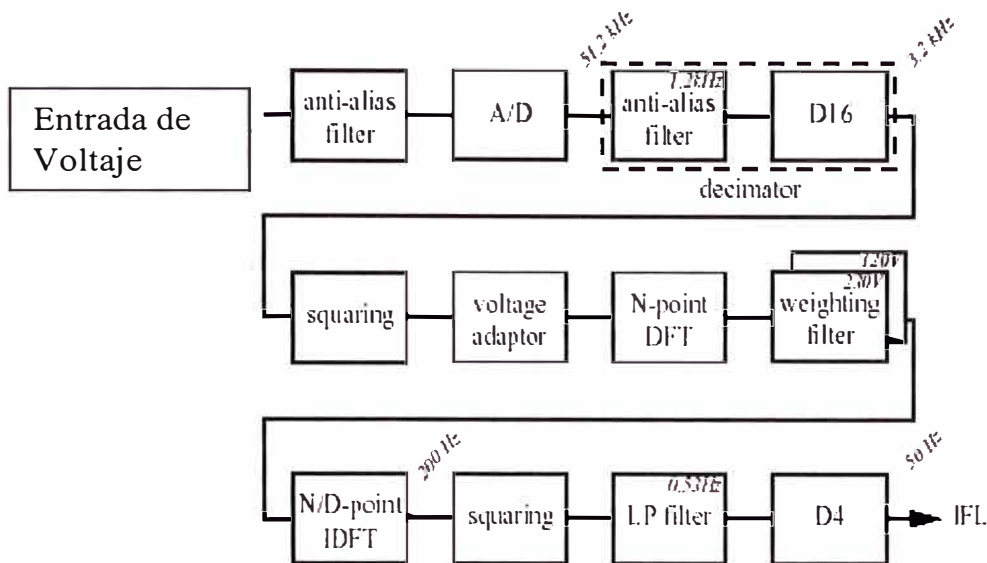


Fig. 4. Diagrama de bloques del flickermetro basado en el dominio de la frecuencia
FLICKER EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

➤ Revisión de Propuesta Existente

El dominio de frecuencia se basa en la medida del parpadeo que tiene previamente el computacional más eficaz y capaz de reproducir el pensado analógico filtre la contestación exactamente.

El método que se usa es la Transformada Rápida de Fourier, recortados para estimar la fluctuación del espectro modular, es decir el tamaño de la banda, la amplitud de modulación AC del sistema fundamental. Subsecuentemente el peso de los factores y son aplicados a cada componente espectral.

La suma de todos los componentes da una estimación del promedio IFL. Los FFTs son realizados con datos acumulativos encima de 2,13 s.

Este acercamiento falta a proveer en el dominio de tiempo IFL necesitado para la evaluación estadística subsiguiente. El ancho de banda de la entrada muy restringido de 30-60 Hz (para un 60 El Hz ac sistema) calcula para el flicker debido a la amplitud de la modulación sólo y complaciente con la norma IEC. Es más, el tiempo largo de las ventanas usadas inherentemente asumen una constante perturbación que no es realista.

➤ Nueva Propuesta

Comparado con el flickermetro en el dominio del tiempo presentado en la sección anterior (Figura 1), la Figura 4 muestra que el filtro pesante, precedió por un Discreto Transformada de Fourier y siguió por lo inverso, esto ha sido realizado por el dominio de la frecuencia filtrando el acercamiento. La demodulación del filtro paso bajo ha sido hecho redundante.

La aplicación vía el DFT generalmente quiere aumentar la eficacia por el ABETO (Impulso Finito de la contestación) de los filtros, sobre todo para los órdenes del filtro alto. Sin embargo en este caso las ganancias en eficacia lograda por la combinación del filtro con el bajo catador se perderían.

La realización de bloques en el dominio de la frecuencia es posible pero también muy ineficaz. Porque las modificaciones multiplicativas corresponden a la circunvolución en el dominio opuesto, el cuadrado involucraria el funcionamiento filtrándose en el espectro. Esto habría degradado la eficacia del sistema a un grado más alto que las ganancias lograrían en otras partes por el uso de la filtración de DFT.

A estas alturas también es importante comprender que el DFT los ingresos niegan frecuencias que para la entrada real son redundante. FFTs real-estimados se aprovechan de esta redundancia, para aumentar la eficacia del computacional una vez más.

Los IDFTs se realizan en el espectro reducido (0 -100 Hz) produciendo una reducción de la proporción probando por un el factor de 16. Los bloques restantes operan así a las 200 Hz en cuanto a la realización en el dominio del tiempo. En el dominio de la frecuencia el filtro simplemente se comprende los cambios multiplicativos al espectro computado.

Así el número complejo factoriza a los iguales, el número de muestras de frecuencia que representan el espectro producido por el DFT. La frecuencia se espacian las muestras f aparte, donde N

$$Df = f_s / N \dots\dots (1)$$

Por ejemplo para $df=1$ Hz, esto sería la muestra de 101 en el rango de 0-100 Hz, para que los pesos sólo tienen que ser calculados una vez del análogo que pesa la contestación del filtro y puede ser entonces guardado en una mesa.

La resolución de frecuencia mejora con N aumentado (Ecuación 1) y así el goteo espectral disminuirá. Al mismo tiempo la habilidad de resolverse los cambios encima del tiempo con el signo analizado disminuirá. Desde que el parpadeo representa las perturbaciones de estacionario así como el no estacionario de su naturaleza, la resolución es sin embargo temporal y suficiente. Por consiguiente la opción de N tiene que ser un compromiso. Tiene que ser notado que, la frecuencia de la resolución del DFT simplemente no puede aumentarse por relleno, la sucesión de la entrada a la longitud N porque no aumente la duración de tiempo del signo. Esto sigue el principio de incertidumbre que los estados de la incertidumbre miden una frecuencia y es el recíproco del tiempo tomado para medirlo.

El flickermetro del dominio de la frecuencia se ha usado simulando en MATLAB que corre bajo UNIX. Una aplicación en el DSPs de Mapa no se emprendió, desde que los sistemas son totalmente digitales y sólo son muy pequeñas las diferencias debido al solo número de precisión de la representación en el DSP que se espera.

La Figura 5 muestra la prueba que resulta usando 8192 puntos FFTs, y una longitud de la ventana N_h de 4096. Para tomar en consideración la inclusión propuesta de un signo de la prueba de 33,33 Hz para lograr la consistencia buena entre diferentes aplicaciones del flickermetro, la contestación del peso y la demodulación del filtro paso bajo en el DFT se filtran en el banco y se combina.

La complacencia con la norma de IEC que actualmente sólo comprende que la prueba señala de 0-25 Hz en el rango de frecuencia, es probado para esas configuraciones, desde que las curvas quedan dentro de la venda de tolerancia extendiéndose de 0.9-1,1 unidades de perceptibilidad.

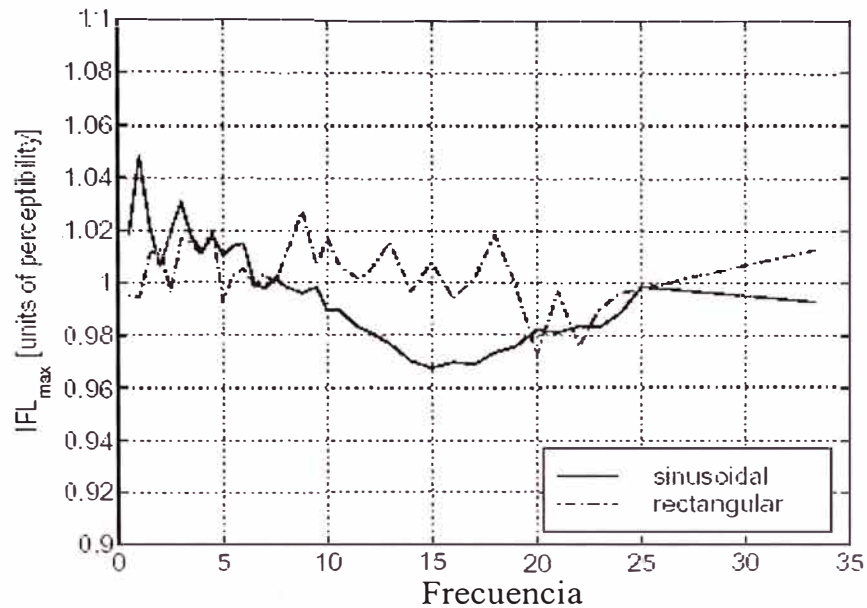


fig 5. Resultados del flickermetro en el dominio de la frecuencia

APLICACIÓN PRÁCTICA

Para probar el flickermetro más realista del ambiente, se usaron las grabaciones de voltaje de arco-horno como el parpadeo de arco-horno de entrada que tiene como variante espectral el volumen que es de interés particular al probar un FFT que se basó en su aplicación, por otra parte los problemas debido a l goteo espectral no puede reconocerse.

Los signos de IFL obtuvieron con el dominio de tiempo y se compararon las aplicaciones de dominio de frecuencia usando el IAE como una figura de mérito.

La Figura 6 representa el rendimiento resultante y señala su pariente de las diferencias y que no hay ninguna diferencia apreciable alcanzando sólo uno por ciento. Esto se manifiesta en el IAEs que evalúa a 0,078% y 2,97% respectivamente.

La nota que el solape usa en la figura 6 es sólo 50% y así baja al valor teórico. Los resultados para un solape de 75% no muestran ninguna apreciable diferencia.

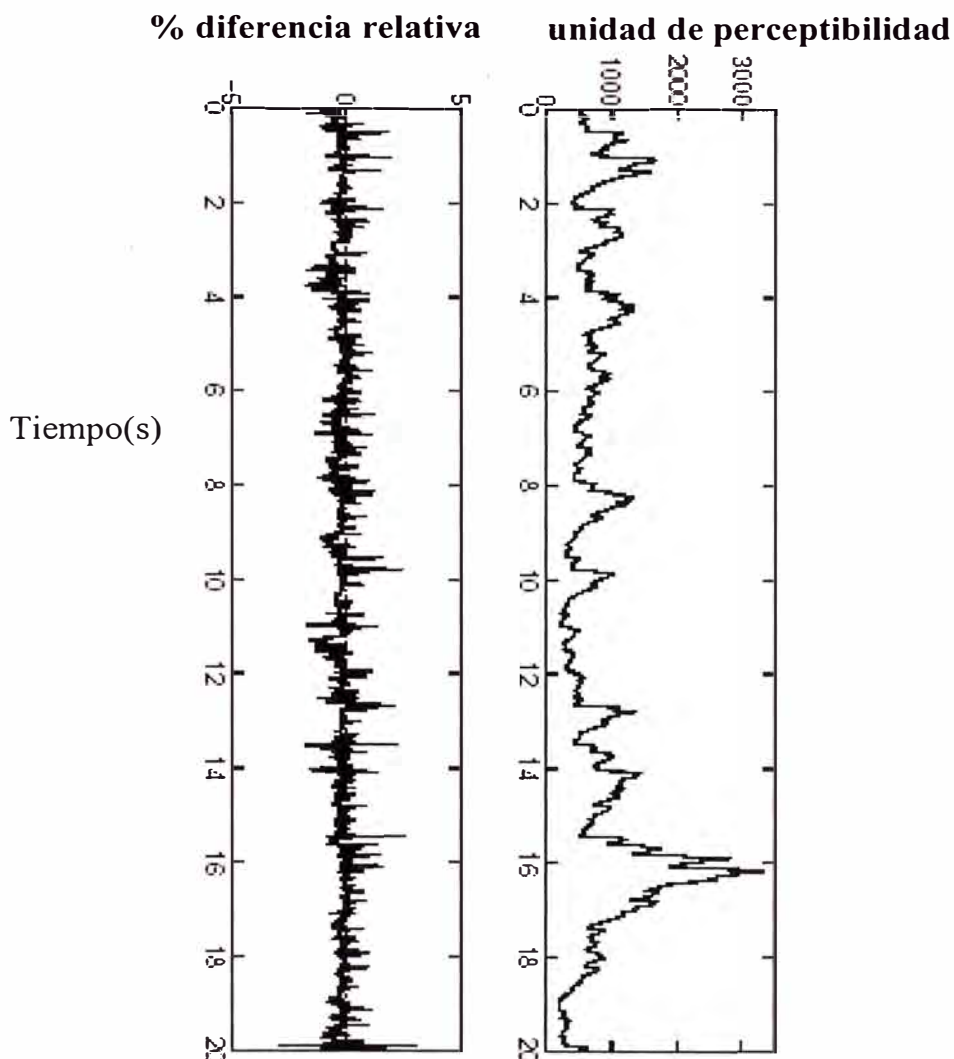


Fig 6. IFL, resultados de los arcos de horno, muestra la salida de la sólida línea en el dominio del tiempo del flickermetro.

LA CONCLUSIÓN

Este papel ha presentado los planes del flickermetro digital flexible con la norma del IEC que o usa en el dominio del tiempo y la frecuencia. Ambos modelo de los acercamientos de cadena de lámpara-ojo-cerebro que asegura el parpadeo realista las dimensiones para cualquier amable perturbación. La máxima eficacia del computacional es lograda diezmando a la proporción de la muestra apropiada más baja a cada fase.

Una aplicación completa del flickermetro en el dominio de la frecuencia no es práctica de la computación. Sin embargo, la aplicación del filtro DFT y la flexibilidad que proporciona como cualquiera que la contestación del filtro puede ser rápidamente acomodado.

La flexibilidad de un flickermetro digital permite los cambios y la característica del filtro según los parámetros de la bombilla diferentes, y puede ser por consiguiente usado en 230 V y 120 Voltios. El filtro digital para la realización en el dominio del tiempo era obtenido del prototipo analógico por los covariantes que transforman y proporcionan un alto a la exactitud de contestación de magnitud. En el dominio de la frecuencia el método basado comprende la contestación del filtro exactamente y es más, cualquiera que forme la contestación arbitrariamente puede adoptarse fácilmente.

Se han verificado las aplicaciones del dominio de la frecuencia el sinusoidal usando el parpadeo del arco del horno. El último proporciona la variable a un signo de la prueba realista espectral el requisito satisfecho para verificar la resolución de tiempo suficiente del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. MEM, “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”, Julio 2001
2. OSINERG, “Base Metodológica para la aplicación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”, Agosto 2001.
3. PROARC, Informe Técnico “Mediciones de perturbaciones realizadas en el sistema de alimentación eléctrica de Aceros Arequipa planta Pisco”, Octubre 1998.
4. EDELNOR, Informe Técnico “Estimación del impacto el Norma Técnica de Calida referente a perturbaciones en la industria”, 1999.
5. UNESA, “Guía sobre la calidad de la onda en las redes eléctricas”, 1996.
6. Curso de Capacitación – OSINERG, Soluciones electrotécnicos de armónicos en sistemas de potencia: Msc. Ing. Leonidas Sayas Poma, Octubre 2003
7. S. Mark Halpin, Roger Bergeron, Tom Blooming, “Voltaje and lamp Flicker Sigues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach, 1997.
8. FROST Y SULLIVAN, Manual “The Reliable Power Recorder RPM”, 2002

9. Manuel Pérez Donsión y Bemardino Novo Ramos, Cursos de Verano de la Universidad de Cantabria "Fluctuaciones de Tensión en las Instalaciones Industriales, Efecto del Flicker", Julio 2002.
10. Manuel Pinilla Rodríguez, Cursos de Verano de la Universidad de Cantabria "Calidad de la Onda, Agentes que Intervienen", Julio 2002.
11. OSINERG, Mediciones de perturbaciones realizadas y reportadas por las concesionarias del Perú, Octubre 1999 a Junio 2003.
12. IEC 61000-4-15: Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurements techniques - Section 15. Flickermeter. Functional and design specifications. Bureau Central de la Commision Electrotechnique Intemationale, 1997/11.
13. IEC 61000 – 3 - 3: Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits- Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 6 A. Bureau Central de la Commision Electrotechnique Intemationale, 1994.
14. T. Keppler, N.R. Watson, S. Chen y J.Arrillaga - Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad de Canterbury Nueva Zelanda.
15. IEC, "IEC 1000-4-15 Electromagnético la compatibilidad. Parta 4: Probando y medida las técnicas - sección 15: Flickermetro - Flickermetro - Funcional y Especificaciones del Plan", 1994.
16. IEC, "la Medida del Parpadeo y Evaluación", 2 la edición revisada, 1991.