

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PERTURBACIONES EN LAS LÍNEAS DE COMUNICACIONES POR
LAS CORRIENTES ARMÓNICAS**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

JUAN RICHARDS ZAVALA CORAL

**PROMOCIÓN
1987 - I**

**LIMA – PERÚ
2009**

**PERTURBACIONES EN LAS LÍNEAS DE COMUNICACIONES
POR LAS CORRIENTES ARMONICAS**

SUMARIO

En el presente informe pretendemos exponer un resumen de todo lo que ocurre cuando las líneas de potencia se aproximan a los circuitos de comunicaciones. En el Capítulo I se hace una revisión de las definiciones de perturbación, principales perturbaciones, destacando o haciendo mayores énfasis en los tipos de cargas, armónicos, características, efectos. En el Capítulo II se efectúa un repaso de los efectos de los armónicos en las líneas de comunicaciones, destacando las inducciones electrostáticas y electromagnéticas. En esta parte también contemplamos el TIF (Factor de Incidencia Telefónica) y todo lo inherente a ella. En el Capítulo III abordamos todo lo relacionado a los medios de mitigación de los efectos de los armónicos en las líneas de comunicaciones; se pueden apreciar un resumen de las normas y estándares relacionados con la limitación de las armónicas en los sistemas eléctricos de potencia, la distorsión armónica total, THD (Total Harmonic Distortion) que es precisamente la cantidad de armónicos que se introduce en las líneas de potencia afectando a las de comunicaciones. Se revisa los estándares nacional e internacional. Finalmente en el Capítulo IV exponemos una descripción práctica de lo que acontece en la compañía Telefónica del Perú S.A.A en relación a las distancias de seguridad entre una línea de potencia y telefónica no sólo con la finalidad de evitar las inducciones, sino de prevenir accidentes que pueden ocurrir si no se respetan los márgenes de distancia.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PERTURBACIONES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	3
1.1. Definición de Perturbación.....	3
1.1.1. Clases de Perturbaciones	3
1.2. Descripción de las Perturbaciones.....	4
1.2.1. Ruidos e Impulsos en Modo Diferencial	4
1.2.2. Variaciones Lentas y Rápidas de Tensión.....	5
1.2.3. Parpadeo (Flicker)	6
1.2.4. Microcortes	6
1.2.5. Cortes Largos	7
1.2.6. Distorsión	7
1.2.7. Variaciones de frecuencias	8
1.3. Tipos de Cargas y Formas de Ondas	9
1.3.1. Cargas Lineales y No Lineales	9
1.3.2. Principales Cargas No Lineales.....	11
1.3.3. Armónicos	11
1.3.4. Armónicas Características	12
1.3.5. Efectos de los Armónicos en las Redes Eléctricas	13
1.3.6. Interarmónicos.....	15
1.3.7. Efectos de los Interarmónicos	15
1.3.8. Subarmónicos	16
1.3.9. Efectos de los Subarmónicos.....	16
CAPÍTULO II.....	17
EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LAS LÍNEAS DE COMUNICACIONES	17
2.1. Interferencias en los Circuitos de Comunicaciones	17
2.2. Factores que Determinan los Problemas de los Ruidos	18
2.3. Acoplamiento a Circuitos de Comunicaciones	18

2.3.1. Inducción de Bucle.....	19
2.3.2. Inducción Electromagnética Longitudinal	19
2.3.3. Inducción Electroestática Longitudinal.....	21
2.3.4. Acoplamiento Conductivo.....	22
2.4. Otros Efectos más Importantes.....	22
2.4.1. Susceptibilidad de los Circuitos Telefónicos	23
2.4.2. Peso relativo de los armónicos	23
2.4.3. Peso Sofométrico.....	23
2.4.4. TIF (Factor de Influencia Telefónico).....	24
2.4.5. Criterio C-message.....	25
2.4.6. Los Productos I^*T y KV^*T	26
2.4.7. Equilibrio a Tierra del Circuito Telefónico	27
2.4.8. Apantallamiento	27
CAPÍTULO III.....	28
MEDIOS DE DISMINUCIÓN DE LOS EFECTOS.....	28
3.1. Recomendaciones ante la presencia de ruidos	28
3.2. Métodos de Reducción de Interferencia.....	28
3.2.1. Bobinas de supresión de ruido.....	28
3.2.2. Transformadores de neutralización de ruido	28
3.2.3. Cable apantallado	29
3.2.4. Circuitos derivados.....	29
3.3. Propósito de la Normatividad y Reglamentaciones	29
3.4. Estándares Nacional e Internacional	29
CAPÍTULO IV	44
DESCRIPCIÓN DE CASO (TELEFÓNICA DEL PERÚ).....	44
4.1. Estructura de la Planta Externa Telefónica	44
4.2. Composición de la Red Telefónica	45
4.3. Tipos de Red.....	45
4.4. Elementos que constituyen la Red Telefónica	48
4.5. Instalaciones Seguras	48
4.5.1. Protección de las Centrales Telefónicas.....	49
4.5.2. Protección en los Cables Subterráneos.....	49
4.5.3. Protección en el Cable Aéreo	49

4.5.4. Protección de Armarios.....	50
4.5.5. Protección de Cajas Terminales.....	51
4.5.6. Protección de la Red de Dispersión y Equipo de Abonado	51
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56

INTRODUCCIÓN

La generación de la energía eléctrica en los centros de producción y el suministro en los puntos de consumo se hace a través de las redes de transmisión y distribución eléctrica. Para su adecuado funcionamiento, en términos generales la primera necesidad es que se satisfaga la demanda de los usuarios, superando el problema del suministro debemos centrarnos en la calidad de la energía que se suministra.

La calidad de la energía eléctrica es un término global que abarca tanto la disponibilidad del suministro eléctrico junto con la calidad de tensión y la corriente suministrada. Cualquier desviación de la tensión y la corriente de su forma ideal se consideran como una pérdida de calidad o como una perturbación. La mala calidad de la energía eléctrica en el punto de suministro al consumidor puede generar problemas importantes en las instalaciones y equipos conectados a la red; precisamente uno de los efectos es las perturbaciones en las líneas de comunicaciones por las corrientes armónicas, que es materia de este informe.

En un sistema de alimentación ideal (exento de armónicos) las formas de ondas de las corrientes y de la tensión son sinusoidales puras. Por ejemplo en un circuito formado por cargas lineales - por ejemplo cargas resistivas – las corrientes que fluyen a través de los componentes es proporcional a la tensión aplicada a una frecuencia determinada. En tal sentido si se aplica una tensión sinusoidal, se produce una corriente sinusoidal en la carga. Sin embargo en la práctica nos encontramos con componentes no lineales interactuando en los circuitos eléctricos.

A pesar de que la tensión en el origen suele ser senoidal, las caídas de tensión provocadas por dichas corrientes no senoidales hacen que en los puntos comunes de acoplamiento (PCC, point of common coupling) se tenga una tensión distorsionada y por lo tanto los usuarios conectados a la red distorsionada sufren los efectos de los usuarios que generan la distorsión de la corriente, tal como se pueden apreciar en las Figura (a) y (b) respectivamente.

El PCC es el punto común entre el usuario contaminante y los posibles afectados. Se puede

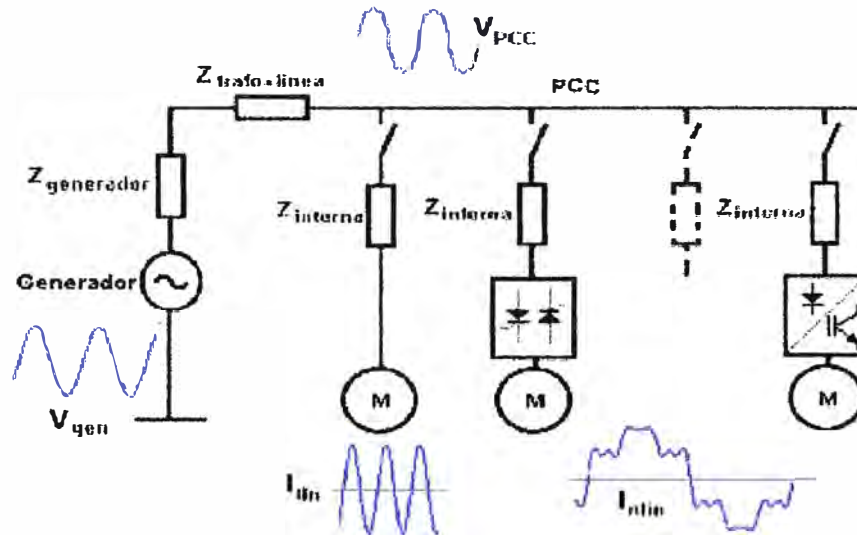


Figura (a) Armónicos de Corriente y Armónicos de Tensión en el PCC

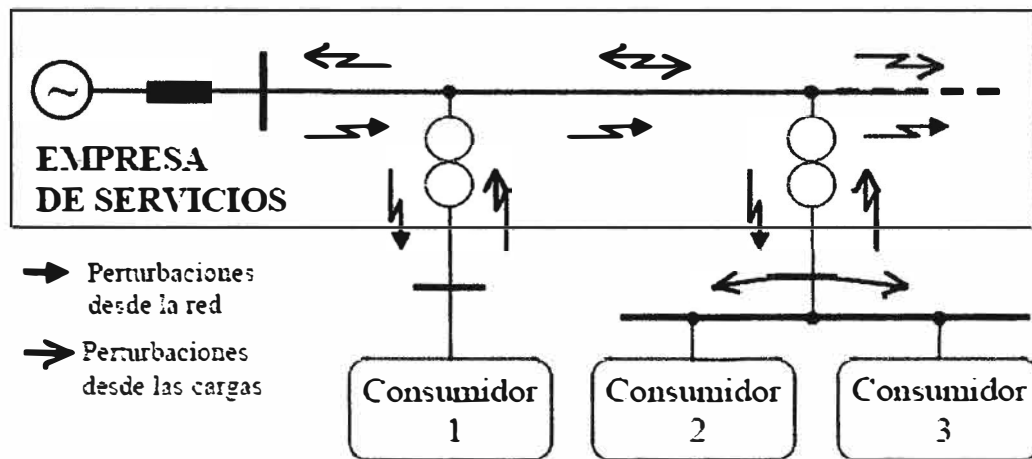


Figura (b) Perturbaciones en las Redes Eléctricas en el PCC

localizar en el primario o secundario del transformador, tal como se puede apreciar en la Fig. (c)

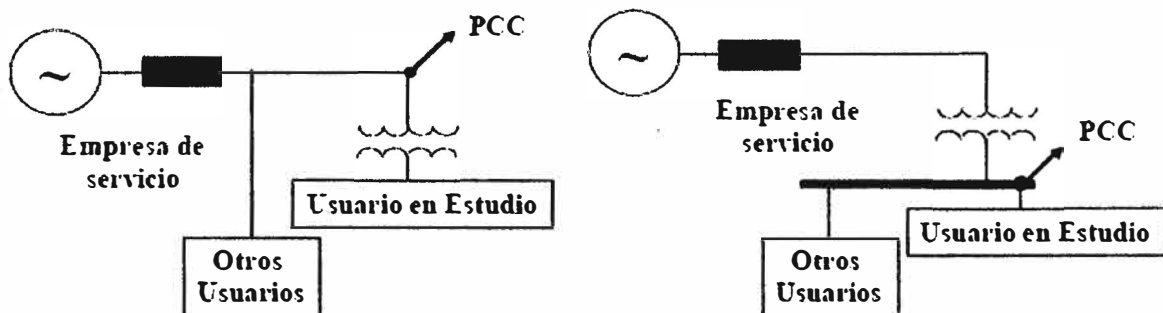


Figura (c) Ubicación del PCC en la Red Eléctrica.

CAPÍTULO I

PERTURBACIONES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

1.1. Definición de Perturbación

Es cualquier fenómeno electromagnético que pueda degradar o afectar el desempeño de un dispositivo, equipo o sistema. La fuente de una perturbación, por ejemplo puede ser una descarga electromagnética, que obviamente genere campos electromagnéticos que se propagan por radiación en la atmósfera y perturban una instalación de comunicaciones, induciendo sobretensiones y provocando la circulación de corrientes no deseadas.

1.1.1. Clases de Perturbaciones

Según la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) en su normativa sobre compatibilidad electromagnética clasifica las perturbaciones electromagnéticas en:

En cuanto al tiempo puede ser: Permanentes y Transitorias

En cuanto a las causas y el medio de transmisión pueden ser: Radiadas o Conducidas.

En la Tabla N° 1.1 se muestra la clasificación de los principales fenómenos que producen perturbaciones electromagnéticas según la IEC.

- **Perturbaciones Transitorias**

Son “fenómenos aleatorios pasajeros que tienen su origen tanto en los elementos de la red eléctrica, como en la propia instalación del usuario. La consecuencia típica de estas perturbaciones es una caída de tensión transitoria, y en ocasiones un corte más o menos prolongado en algunas zonas de la red. Las causas principales de estas perturbaciones son los rayos, las maniobras en alta tensión, las variaciones bruscas de cargas y los cortocircuitos”.

- **Perturbaciones Permanentes**

Son “fenómenos de carácter permanente, o que se extienden a lapsos bien definidos que desde el punto de vista de los fenómenos que estudiamos, podemos considerarlos como permanentes.

Estas perturbaciones tienen, en su mayoría, origen en el funcionamiento de ciertos equipos localizados normalmente en la instalación del abonado”.

1.2. Descripción de las Perturbaciones

Las perturbaciones más frecuentes en la red eléctrica son las siguientes:

1.2.1. Ruidos e Impulsos en Modo Diferencial

Son perturbaciones de tensión que tienen lugar entre los conductores activos de alimentación (fase y neutros en sistemas monofásicos; fases, o fase y neutro en sistemas

Tabla 1.1: Clasificación de los principales fenómenos que producen perturbaciones electromagnéticas según la CEM.

Fenómenos conducidos De baja frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Armónicos, interarmónicos - Señales transmitidas en la red - Fluctuaciones de tensión - Huecos de tensión e interrupciones - Desequilibrio de tensiones - Variaciones de frecuencia - Voltajes inducidos de baja frecuencia - Componente de continua en redes de alterna
Fenómenos radiados De baja frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Campos magnéticos - Campos eléctricos
Fenómenos conducidos De alta frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Tensiones o corrientes inducidas de onda continua - Transitorios unidireccionales - Transitorios oscilatorios
Fenómenos radiados de alta frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Campos eléctricos - Campos magnéticos - Campos electromagnéticos (radio) - Ondas continuas - Transitorios
Fenómenos de descarga electrostática	
Pulsos electromagnéticos nucleares	

trifásicos). Se denominan ruidos si son frecuentes y de escaso valor (decenas de voltios más o menos). Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadoras de arco, timbres, interruptores, etc., los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada. No producen daño en los equipos, pero si pueden causar un mal funcionamiento.

Si son esporádicos y de valor elevado (cientos de voltios) se denominan impulsos, es decir, cuando la duración es inferior a 2 ms. Por otro lado, los impulsos eléctricos suelen producirse por conexión y desconexión de bancos de condensadores, funcionamiento de

hornos de arco, máquinas con escobillas, interruptores, termostatos y por descargas eléctricas. Este tipo de perturbaciones puede producir daños muy serios en los equipos. Una forma de onda de tensión con ruido eléctrico se muestra en la Figura 1.1, mientras una forma de onda de tensión con presencia de impulso eléctrico es mostrada en la Figura 1.2.



Fig. 1.1: Ruido eléctrico

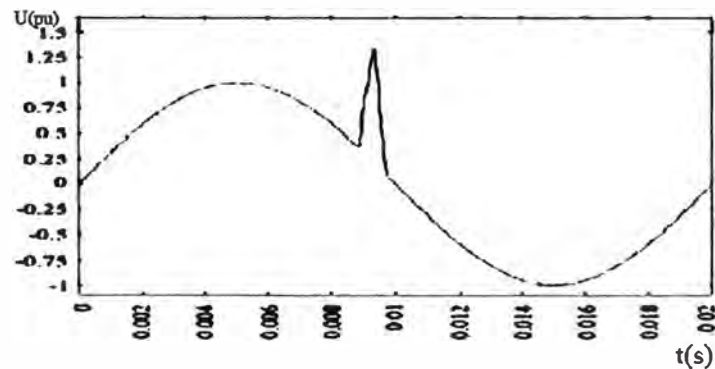


Fig. 1.2: Impulso Eléctrico

1.2.2. Variaciones Lentas y Rápidas de Tensión

Se considera una variación lenta de tensión, aquella que se presenta con una duración de 10 segundos o más. Se produce debido a la variación de las cargas en redes eléctricas con impedancia alta de cortocircuito. Si sobrepasan los límites estáticos permitidos por los equipos, pueden producir fallos en su operación. Este tipo de variación de tensión se muestra en la Figura 1.3.

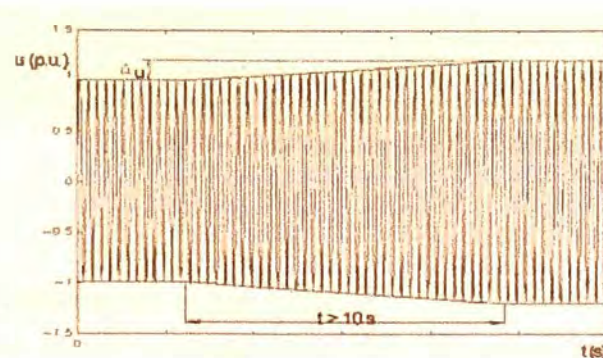


Fig.1.3: Variación lenta de tensión

Por otro lado, una variación rápida de tensión tiene una duración menor a los 10 segundos. Se produce debido a la conexión y desconexión de grandes cargas y maniobras en las líneas de la red eléctrica. Este tipo de variación de tensión se muestra en la Figura 1.4.

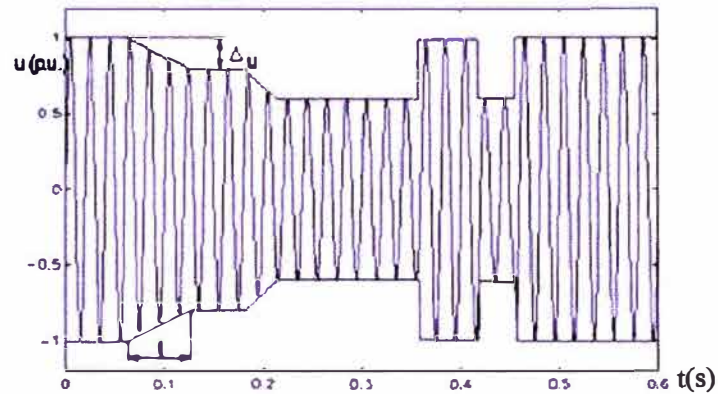


Fig. 1.4: Variación rápida de la tensión

1.2.3. Parpadeo (Flicker)

Es una variación rápida de tensión de forma repetitiva, similar a la modulación de amplitud de una onda de alta frecuencia por una onda de baja frecuencia, la cual se puede observar en la Figura 1.5 produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto (de aquí el nombre); se debe principalmente al funcionamiento de hornos de arco y equipos de soldadura. En general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada.

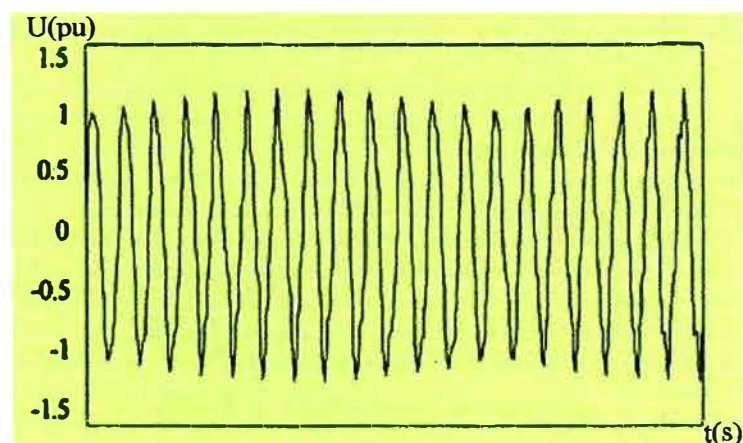


Fig. 1.5: Variación rápida de tensión

1.2.4. Microcortes

Son anulaciones en la tensión de la red eléctrica (o reducciones por debajo del 60% de su valor nominal) con una duración menor a un ciclo. Se deben principalmente a defectos en

la red eléctrica o en la propia instalación del usuario. Pueden producir mal funcionamiento en cargas muy sensibles y errores en las computadoras.

Un ejemplo de una forma de onda de tensión con microcortes se muestra en la Figura 1.6.

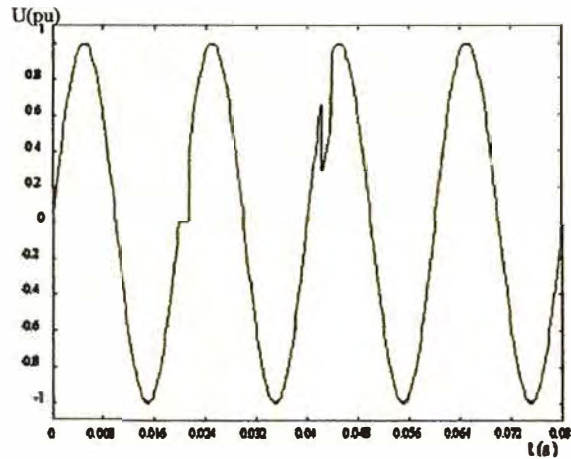


Fig. 1.6: Microcortes de tensión.

1.2.5. Cortes Largos

Son anulaciones de la tensión de red (o reducciones por debajo del 50% de su valor nominal) de duración mayor a un ciclo. Se producen generalmente por fallas o desconexión de las líneas de alimentación y por averías en los centros de generación y de transformación. En la Figura 1.7 se muestra un corte largo de tensión que si bien no cae a cero sí es menor al 50% del valor nominal.

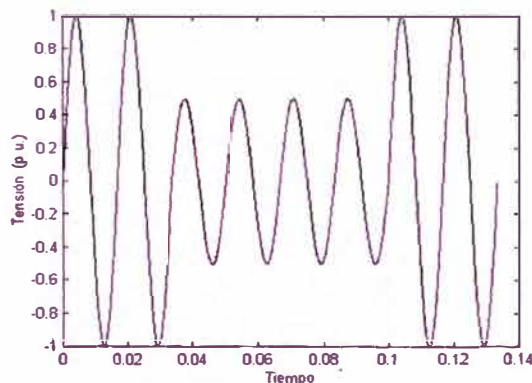


Fig. 1.7: Corte largo de tensión

1.2.6. Distorsión

Es una deformación de la forma de onda de tensión, debida a la presencia de armónicos. Su nombre técnico es Distorsión Armónica Total (THD Total Harmonic Distortion). Se debe principalmente a la conexión a la red eléctrica de máquinas con núcleo magnético saturado,

convertidores estáticos (rectificadores controlados y no controlados, sistemas de alimentación ininterrumpida, fuentes conmutadas) y otras cargas no lineales. Casi todas las cargas críticas como lo son los equipos electrónicos soportan una distorsión máxima de 5%.

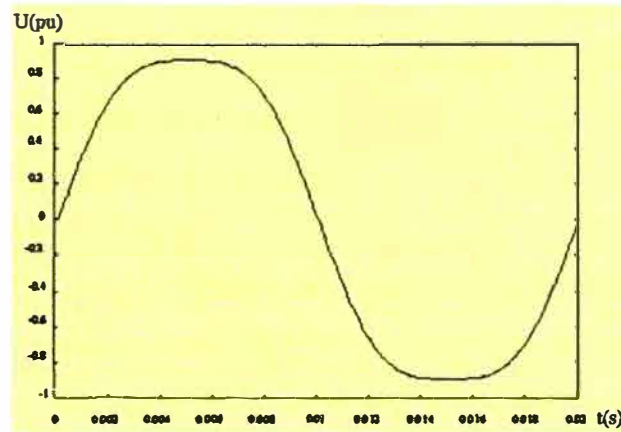


Fig. 1.8: Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica

1.2.7. Variaciones de frecuencias

Son cambios en la frecuencia de señal senoidal proporcionada por la red, que en Europa es de 50 Hz y en América de 60 Hz. Normalmente resulta muy raro que se presente este problema en la red eléctrica en condiciones normales y puede llegar a ocurrir debido a la interconexión de los centros de generación de energía eléctrica.

Generalmente sólo se producen en centros con generación aislada de tensión como lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que obtienen energía eléctrica a partir de generadores de combustión interna, paneles fotovoltaicos, generadores eólicos o en plataformas de explotación petrolera. Se puede apreciar en la Figura 1.9.

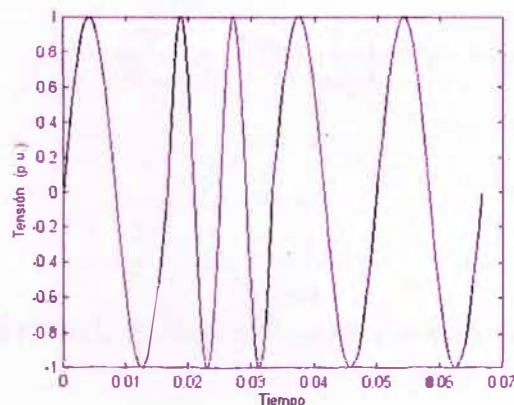


Fig. 1.9: Forma de onda de tensión con variación de frecuencia.

Se ha presentado una revisión de los distintos tipos de perturbaciones comunes en la red eléctrica, las cuales podrían genera funcionamientos anómalos en las cargas eléctricas, incluso destruirlas; por lo que se requiere que dichas cargas eléctricas del usuario cuenten con una seguridad de alimentación y además, calidad en la onda de tensión que recibe de la red eléctrica. Las consecuencias de los problemas ocasionados por las perturbaciones eléctricas en la red pueden suponer grandes pérdidas económicas en instalaciones industriales que cuenten con procesos continuos.

1.3. Tipos de Cargas y Formas de Ondas

1.3.1. Cargas Lineales y No Lineales

- a) **Cargas Lineales.-** Las cargas lineales son aquellas que al alimentarlas con un voltaje senoidal toman una corriente senoidal. Entre este tipo de cargas se encuentran los motores sin controles electrónicos de velocidad y la iluminación incandescente. En la Figura 1.10 se muestra la onda senoidal tanto de tensión como de corriente de una carga lineal.
- b) **Cargas No Lineales.-** Las cargas no lineales son aquellas al que alimentarlas con un voltaje senoidal , toman una corriente no senoidal . Entre este tipo de cargas se encuentran los variadores de velocidad, los hornos de arco eléctrico, y sistemas de rectificación a CD principalmente. En la Figura 1.11 se puede apreciar la onda de corriente no senoidal de una carga no lineal.

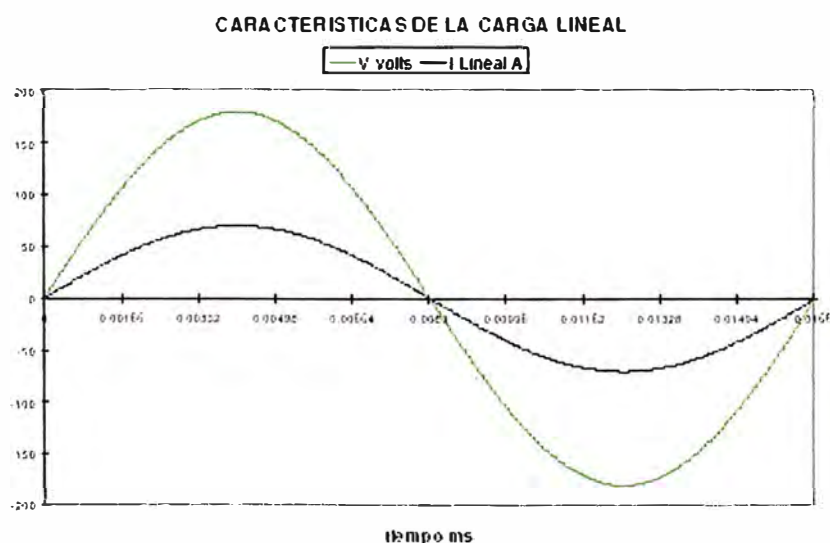


Fig. 1.10: Onda senoidal tanto de la tensión como la corriente de una carga lineal.

El incremento acelerado del uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos, debido principalmente al auge de la electrónica de potencia en estos últimos años, ha permitido un

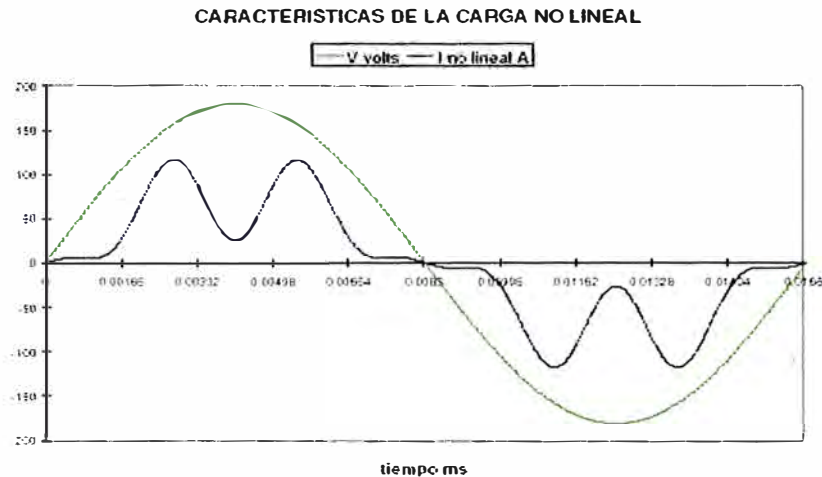


Fig. 1.11: Onda de tensión senoidal y de corriente no senoidal de una carga no lineal.

uso más eficiente de la energía eléctrica, pero, por otra parte, ha provocado, una situación problemática, a veces grave, donde las corrientes armónicas generadas por los propios equipos eléctricos distorsionan la onda de corriente sinusoidal original y perturban la operación de estos mismos equipos, provocan además, calentamientos excesivos y pérdidas de energía en máquinas eléctricas, conductores y demás, equipos del sistema eléctrico. Asimismo producen perturbaciones electromagnéticas que pueden interferir en las instalaciones de telecomunicaciones cercanas a las líneas eléctricas.

La aparición de cargas no lineales, principalmente de tipo electrónico, en las instalaciones eléctricas va en aumento y cada vez es más difícil encontrar cargas totalmente lineales. En la industria cada vez más motores llevan equipos de alimentación electrónica, ya sea para variar la velocidad, ahorrar energía o mejorar las prestaciones. Dentro de las industrias y almacenes la automatización ha hecho desaparecer los movimientos manuales y los ha sustituido por los medios de transporte con motores dotados de alimentación electrónica o en otros casos alimentados con baterías que luego hay que recargar

En los sectores domésticos y servicios la mayoría de lámparas de incandescencia son regulables y ha aparecido recientemente una campaña de las compañías suministradoras de electricidad para sustituir las lámparas de incandescencia no reguladas por lámparas ahorradoras de energía, que en realidad son fluorescentes compactos.

Hay una gran proliferación de equipos electrónicos tanto para ocio (televisores, video reproductores, equipos de sonido etc.) como herramientas de trabajo (computadores, fotocopiadoras, fax, etc.). Cada vez hay más electrodomésticos que llevan equipos de regulación electrónica o que basan su funcionamiento en circuitos electrónicos (cocinas de inducción, lavadoras, aparatos de aire acondicionado, lavadoras, microondas etc.).

Los problemas causados por el aumento de las cargas no lineales y, por tanto, de los armónicos no se ha hecho esperar. La mayor parte de los estudios de los armónicos los realizan las compañías suministradoras para analizar la influencia de los grandes consumidores no lineales sobre las redes de transporte y distribución. Debemos tener en cuenta que en los próximos años, como ya está empezando a ocurrir, será necesario también el estudio de las instalaciones privadas para analizar cómo las cargas no lineales conectadas a una parte de la instalación afectan a otras partes de la misma.

1.3.2. Principales Cargas No Lineales

Las cargas no lineales se pueden clasificar en 3 categorías:

a) Basadas en arcos y descargas eléctricas

Lámparas de descarga (Fluorescentes, ahorradores de energía, neón, vapores de sodio y mercurio).

Soldadores de arco.

Hornos de arco.

b) Basadas en inductancias saturables

Transformadores

Motores

Reactancias para limitar los arcos de descargas.

c) Electrónicas

Rectificadores para descargas resistivas e inductivas

Fuentes de alimentación (aparatos electrónicos domésticos y de oficina, variadores de frecuencia, sistema de alimentación ininterrumpida, lámparas electrónicas etc.).

Reguladores y recortadores (variación de velocidad de pequeños motores), ahorradores de energía para motores, reguladores de luz, compensadores estáticos de energía reactiva (SVC).

Cargadores de baterías.

Cicloconvertidores.

1.3.3. Armónicos

Los armónicos han sido históricamente la perturbación más estudiada toda vez que su existencia se conoce desde los comienzos de la distribución de la energía eléctrica. Su estudio y la evolución de las técnicas de medida han sido en gran parte los que han generado interés en otros aspectos de la calidad de la energía eléctrica hasta llegar a la situación actual.

Los armónicos en las formas de ondas de la tensión y de la corriente son componentes de frecuencia de valor múltiplo de la frecuencia fundamental. Estas componentes armónicas se producen por la conexión de cargas no lineales a la red. Estas cargas absorben corrientes no lineales que al circular por las impedancias del sistema producen caídas de tensión no lineales que modifican la forma de onda de la tensión suministrada. En la Figura 1.12 se observa la generación y propagación de los armónicos en una red eléctrica.

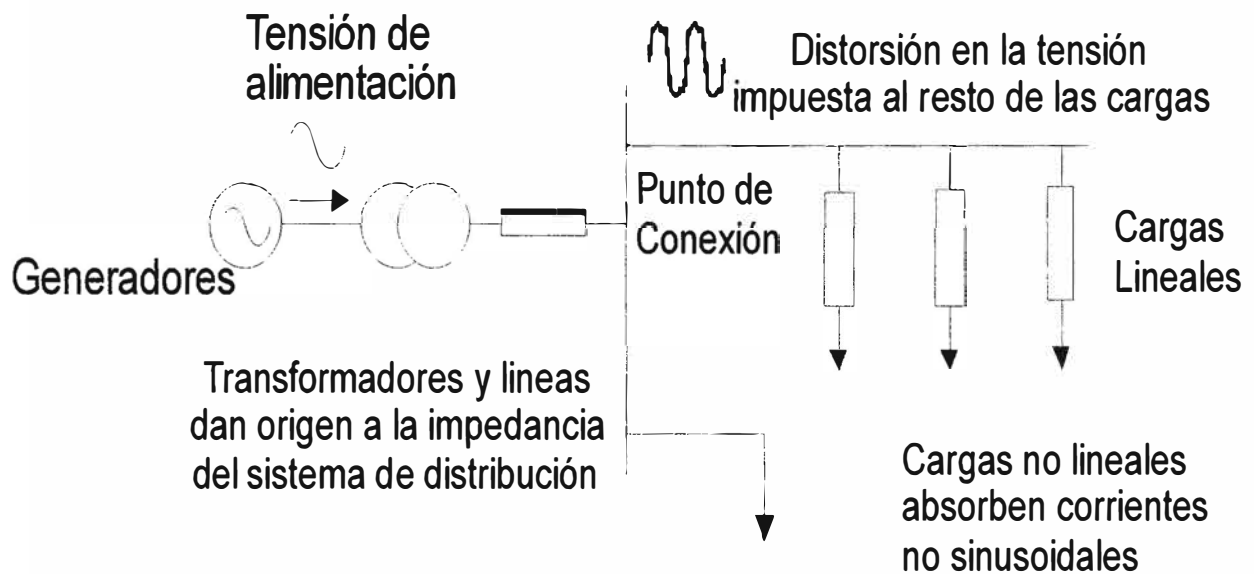


Fig. 1.12: Generación y propagación de los armónicos en las redes de energía eléctrica

1.3.4. Armónicas Características

Ciertas armónicas son inherentes al proceso de conversión que realizan los equipos, a las que se les nombra armónicas características.

En el caso de convertidores estáticos y rectificadores las armónicas características pueden definirse a partir del número de pulsos p con que cuentan, asumiendo que los dispositivos funcionan correctamente, es decir en condiciones ideales de operación la corriente armónica generada por un convertidor, puede ser caracterizada por la siguiente ecuación (1.1)

$$h = np \pm 1 \quad (1.1)$$

Donde:

h = orden armónico

$n=1,2,3\dots$

p = número de pulsos del convertidor

1.3.5. Efectos de los Armónicos en las Redes Eléctricas

Los armónicos en las formas de onda de la tensión y la corriente están siempre presentes en mayor o menor medida, en las redes de distribución y transporte de energía eléctrica actuales por lo que afectan en forma permanente a la propia red y a las cargas conectadas a ella.

El efecto de los armónicos sobre los equipos depende de la naturaleza de estos así como de la magnitud, frecuencia y fase de los armónicos. Algunos de los efectos directos más importantes que producen son los siguientes:

- Los condensadores y transformadores sufren pérdidas adicionales y calentamientos que acortan su vida media de funcionamiento.
- Los fusibles de protección sufren calentamiento e incluso fusión en condiciones de intensidad normal.
- Los cables sufren fallas en el aislamiento, gradientes de tensión elevada y efecto corona.
- Los balastos inductivos que se utilizan en las lámparas fluorescentes o lámparas de descarga sufren aumentos de temperatura.
- Los relés de protección sufren disparos inadecuados ocasionados por las modificaciones en los valores de pico y en los pasos por cero de la señal.
- En sistemas electrónicos de comunicaciones, computadoras y equipos electrónicos de control de procesos como microcontroladores autómatas y robots, sus fuentes de generación de corriente continua a partir de la corriente alterna de la red eléctrica están diseñadas y construidas suponiendo que no se produzcan tensiones armónicas por encima de determinados niveles. No obstante cuando se superan dichos niveles se pueden producir pérdida de datos o aparición de datos erróneos.
- En los equipos de medidas por inducción se producen errores de medida ya que habitualmente están calibrados para una onda de tensión pura sin presencia de tensiones armónicas.
- En las propias redes eléctricas los armónicos incrementan sus pérdidas por calentamiento, especialmente en conductores neutros de baja tensión, transformadores y motores, ocasionando la degradación de los aislamientos acortando la vida útil.
- Los sistemas de transmisión de señales por la red pueden ser alterados por frecuencias armónicas próximas al valor de la frecuencia de la señal portadora utilizada en la transmisión.

- Interferencias en las señales de telecomunicaciones.
- Aumento en las pérdidas por el efecto Joule (I^2R)

Los armónicos se pueden evaluar de 2 maneras distintas:

- **Individualmente**

Por medio de su amplitud relativa, v_h respecto a la amplitud de la tensión de la componente fundamental v_1 , siendo h el armónico. La ecuación (1.2) denota la relación

$$u_h = \frac{V_h}{V_1} \quad (1.2)$$

- **Globalmente**

Por medio del Índice de Distorsión Armónica Total (THD), a través de la ecuación (1.3)

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} u_h^2} \quad (1.3)$$

La enorme proliferación de cargas no lineales está produciendo un aumento continuo en los niveles de Distorsión Armónica en las redes de distribución, de tal forma que si se mantiene esta tendencia se puede esperar que en pocos años se alcancen los niveles máximos admisibles contemplados en la normativa internacional actual.

La Figura 1.13 representa la tendencia en la evolución de la amplitud del quinto armónico de la tensión de suministro, expresada en porcentaje respecto de la componente fundamental, en algunos países europeos. Como se puede apreciar, a lo largo de los últimos años se viene produciendo un aumento del orden del 1% en la amplitud del quinto armónico, que es el armónico dominante en la actualidad, en distintos países europeos en períodos de solamente 10 años.

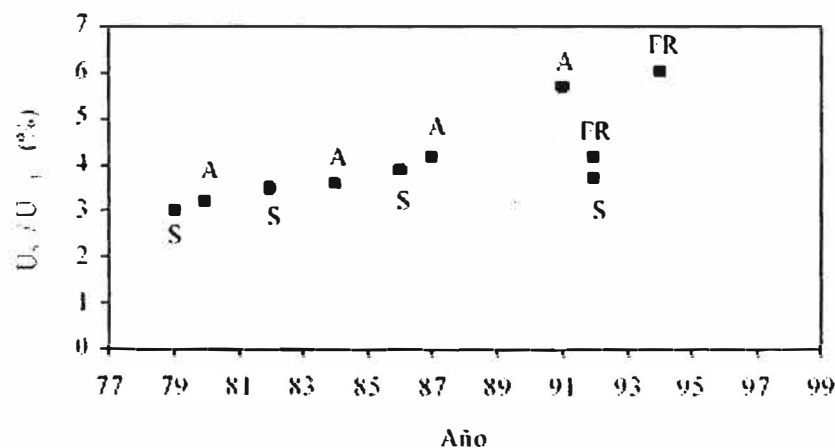


Fig. 1.13: Evolución de la Distorsión Armónica del 5º armónico en la tensión en Suiza (S), Alemania (A), y Francia (FR).

1.3.6. Interarmónicos

Los interarmónicos en las ondas de tensión y de corriente son componentes de frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Principalmente son producidos por convertidores estáticos de frecuencia, convertidores subsíncronos, motores de inducción, hornos de arcos, equipos de soldadura en arco, pero en general, cualquier carga no pulsante sincrónicamente con la frecuencia fundamental es una fuente potencial de interarmónico.

Hasta el momento ha sido una perturbación poco estudiada, pero el incremento que están experimentando actualmente en las redes de distribución y los efectos que producen, hace que haya crecido el interés por su medida y análisis. La medida de interarmónicos es una tarea compleja. Una señal con componentes interarmónicos no es necesariamente periódica y además, dependiendo del intervalo de observación, la señal puede aparecer como no simétrica. En la Figura 1.14 se esboza una fluctuación de tensión y el espectro de un horno de arco eléctrico.

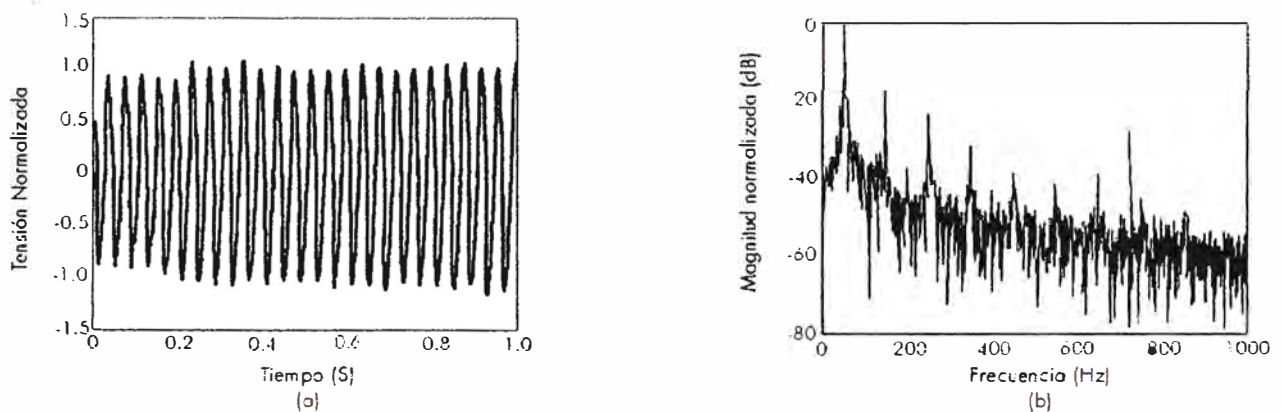


Fig. 1.14: Oscilación de la tensión típica de un horno de arco eléctrico medida en el secundario del transformador de alimentación.

- a) Fluctuaciones de tensión.
- b) Espectro mostrando los armónicos (picos) e interarmónicos.

1.3.7. Efectos de los Interarmónicos

La propagación de interarmónicos en la red de distribución puede producir efectos nocivos en los equipos a los que suministra energía eléctrica como:

- Efectos térmicos.
- Interferencias en señales de control y protección en las líneas eléctricas.
- Perturbaciones acústicas.
- Interferencias en las señales de telecomunicaciones.

- Saturación en transformadores de corriente.
- Flicker en sistemas de iluminación.
- Sobrecargas en filtros paralelos para armónicas de alto orden.

Uno de los efectos más importantes de los interarmónicos es su influencia en el flicker de los dispositivos de iluminación. Las componentes interarmónicas afectan al valor de pico y al valor eficaz de la tensión fundamental, haciendo que estas fluctuaciones de tensión produzcan fluctuaciones en la iluminación sobrepasa ciertos niveles de inmunidad.

1.3.8. Subarmónicos

Los subarmónicos en las ondas de tensión y corriente no tienen una definición oficial ni tienen definido un método de medida en las normas internacionales. Son componentes de frecuencia inferior a la frecuencia fundamental causadas principalmente por hornos de arco controlados por integración de ciclos, cicloconvertidores y generadores eólicos.

Son un problema aún poco estudiado en cuanto a su incidencia en la calidad de energía eléctrica y del que apenas existen pocas referencias en cuanto a su efecto en motores, transformadores y el flicker lumínico que causan.

1.3.9. Efectos de los Subarmónicos

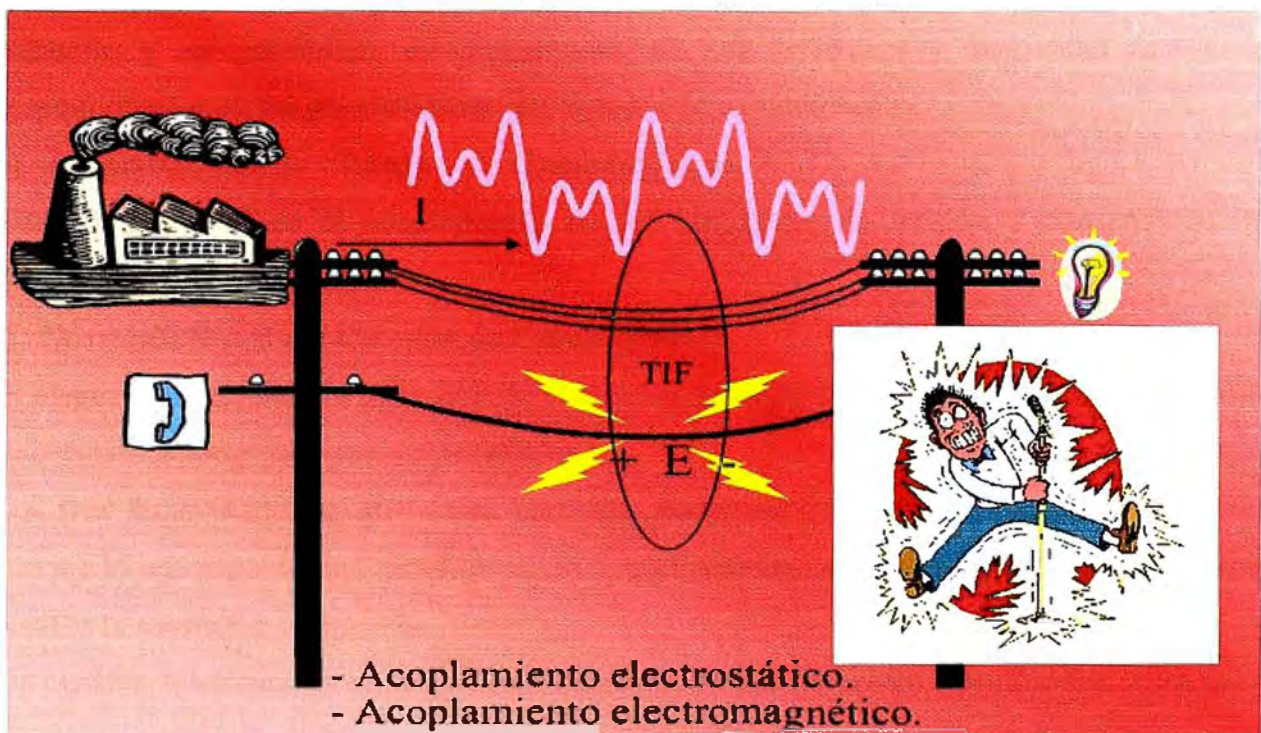
La consecuencia directa de la inyección de corrientes subarmónicas es la distorsión de la tensión de baja frecuencia que aparece como modulación de la componente fundamental de la señal. Entre los principales efectos podemos mencionar:

- Flicker de luz en los sistemas de iluminación.
- Asimetría en el ciclo de histéresis en transformadores.
- Perturbaciones en turbogeneradores.
- Envejecimiento de la vida útil por efecto térmico.
- Disparo erróneo de tiristores.
- Funcionamiento incorrecto de sistemas de control remoto.
- Reducción de la vida útil de los motores de inducción.

CAPÍTULO II

EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LAS LÍNEAS DE COMUNICACIONES

2.1. Interferencias en los Circuitos de Comunicaciones



Quando las líneas de energía eléctrica y de comunicaciones marchan paralelas pueden inducirse en ciertas condiciones tensiones suficientes para producir elevados niveles de ruidos en los circuitos de comunicaciones. Esto puede producirse por un desequilibrio electromagnético y electrostático en las líneas de potencia, especialmente si están presentes armónicos. No obstante, el problema principal se debe a las averías de conexión a tierra que producen grandes corrientes de secuencia cero en la línea de potencia, las cuales originan tensiones inductivas en el circuito vecino. El valor de la tensión inducida depende de la separación y resistividad de la tierra que está inmediatamente debajo y de la frecuencia. La tensión se induce en cada uno de los alambres de comunicación, de modo que si la transposición entre ellos es perfecta, no existirá ninguna tensión entre todos ellos. Sin embargo, existirá una tensión entre el alambre y la tierra. Esta tensión se mantiene a

nivel bajo mediante el empleo de una bobina de “drenaje” conectada entre los alambres y puesta a tierra en su punto medio eléctrico y que desvía hacia tierra las tensiones longitudinales inducidas, pero dando una pequeña atenuación a las frecuencias de comunicación.

2.2. Factores que Determinan los Problemas de los Ruidos

Existen 3 factores que se combinan para crear problemas de ruidos en las líneas de comunicación, éstos son:

a) Influencia del Sistema de potencia:

Este factor depende de la fuente de componentes de audiofrecuencias en el sistema de potencia, y en particular, las magnitudes de sus tensiones y corrientes armónicas desequilibradas en las proximidades del circuito de comunicación.

b) Acoplamientos de Circuitos de Comunicación:

Este factor se refiere al acoplamiento de los armónicos de tensión y corriente en los sistemas de comunicación.

c) Susceptibilidad del Circuito de Comunicación:

El efecto de interferencia por ruido de armónicos depende de las características del circuito de comunicación y sus aparatos asociados.

Los tres factores tienen que darse para que podamos hablar de la presencia de ruido; aunque la ausencia de uno de ellos elimina teóricamente el problema, en la práctica no es posible la supresión completa.

Un circuito telefónico consiste, normalmente, en un par de cables entrelazados conectados al equipo terminal como se puede apreciar en la figura 2.1. Se considera que el aparato está puesto a tierra, a través de las impedancias Z_{L1} y Z_{L2} , V_m y V_s las tensiones inducidas por los efectos electromagnéticos y electrostáticos respectivamente. Como las impedancias Z_{L1} y Z_{L2} son de valores altos, la autoimpedancia de la línea de teléfono resulta despreciable.

En ausencia de conductor de tierra, el retorno se completa vía las capacitancias de dispersión C_{S1} y C_{S2}

2.3. Acoplamiento a Circuitos de Comunicaciones

En los circuitos telefónicos pueden aparecer tensiones de ruidos por: Inducción en bucle, inducción electromagnética longitudinal, inducción electrostática longitudinal y conducción.

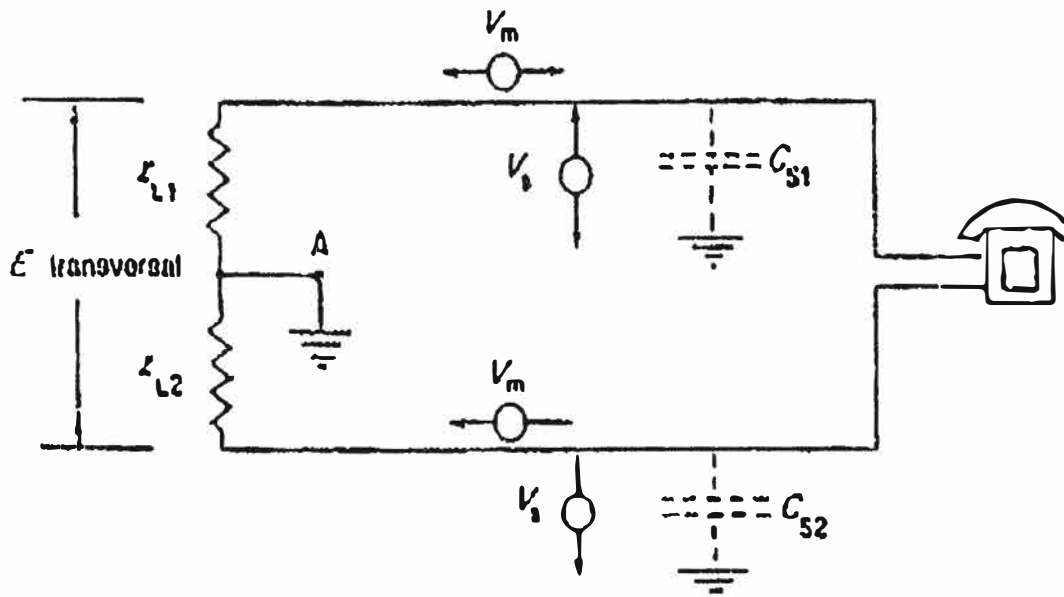


Fig. 2.1: Modelo simplificado de un circuito telefónico

2.3.1. Inducción de Bucle

Es cuando una tensión armónica se induce directamente en el bucle metálico constituido por los dos cables del circuito telefónico. El efecto inductivo aparece como una tensión transversal entre los terminales del circuito telefónico. Se puede eliminar por medio de transposiciones a intervalos en caso de cables aéreos o de conductores entrelazados si se trata de cables subterráneos. Estas soluciones son las más indicadas por lo tanto la inducción de bucle no representa problema.

En zonas de cruces, donde la línea telefónica está muy cerca de la de potencia, este efecto puede resultar importante.

2.3.2. Inducción Electromagnética Longitudinal

La inducción en este caso ocurre por efectos electromagnéticos a lo largo de los conductores del circuito telefónico. El campo magnético que produce el flujo en la línea telefónica lo genera la corriente armónica residual del sistema de potencia. Este tipo de acoplamiento, ilustrado en la Figura 2.2 es la forma más común de ruido inducido en líneas de comunicación. En esta figura la corriente residual I_r retorna por tierra al punto V_p creando un bucle de corriente de sección muy grande en el caso de líneas aéreas; en forma análoga las secciones de las líneas de teléfonos aéreas pueden abarcar mucho espacio.

La inducción longitudinal viene dada por la ecuación (2.1)

$$V_m = M \cdot I_r \quad (2.1)$$

Donde M es la impedancia mutua entre los sistemas de potencia y telefónicos.

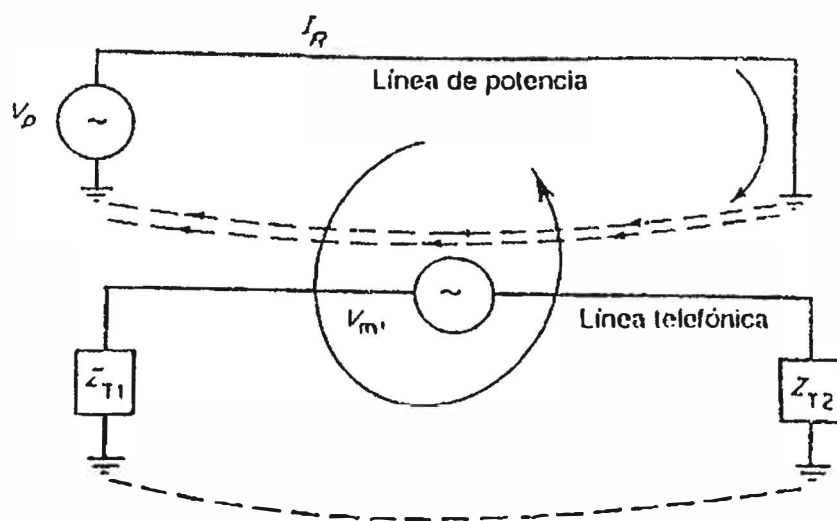


Fig. 2.2: Inducción Electromagnética.

El modelo aceptado para el cálculo de la impedancia mutua entre ambos sistemas fue desarrollado por Carson. La ecuación de Carson para el cálculo de la impedancia mutua entre una línea de potencia de altura h_1 y otra de teléfono de altura h_2 tal como se muestra en la Figura 2.3 está dada por la ecuación (2.2):

$$M = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left[\ln \frac{d'_{12}}{d_{12}} - 2j \int_0^{\infty} \sqrt{(u^2 + j)} - u e^{-(h_1+h_2)u} \cos(\mu(\alpha x) du \right] \quad (2.2)$$

Donde M es la impedancia mutua por unidad de longitud, x es la separación horizontal entre las líneas de potencia y telefónica, $d_{12} = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + x^2}$ es la distancia entre las líneas, $d'_{12} = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + x^2}$ es la distancia entre una línea y la imagen -bajo tierra- de la otra, $\omega = 2\pi f$ es la pulsación angular de la corriente inductora, μ_0 es la permeabilidad relativa del vacío, $\alpha = \sqrt{2}/\delta$, $\delta = \sqrt{(2\rho/\mu_0\omega)}$ es la profundidad del efecto pelicular de la tierra considerada uniforme y ρ es la resistividad de la tierra en ohmios metro.

Se pueden cuantificar los factores que afectan la impedancia mutua, como sigue; la influencia aumenta con el área del bucle de la corriente residual, con la longitud común de las dos líneas, con la frecuencia y con la resistividad; la impedancia mutua disminuye a medida que aumenta la separación entre los dos circuitos.

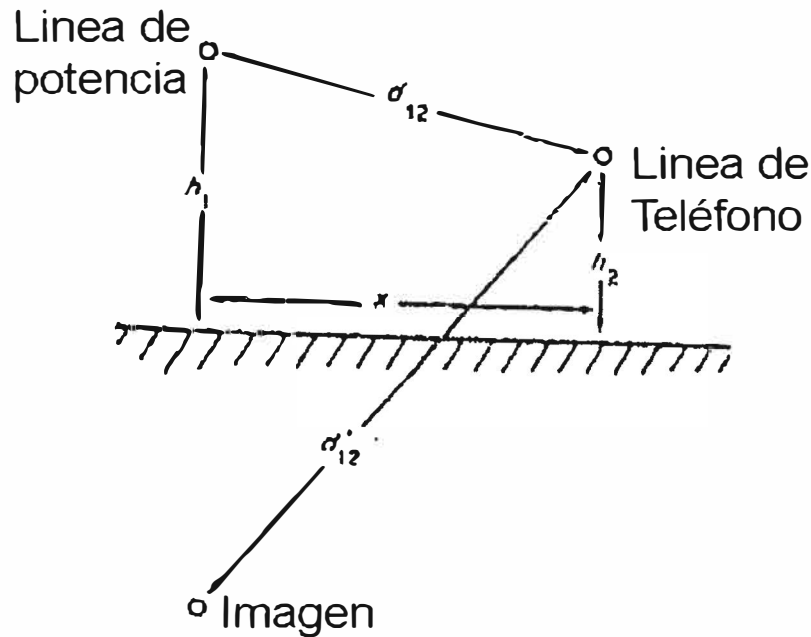


Fig. 2.3: Geometrías de las Líneas de Potencias y Telefónicas.

2.3.3. Inducción Electroestática Longitudinal

Entre los conductores y tierra existen fuerzas electromotrices inducidas por el efecto electrostático.

De una manera muy simple la Figura 2.4 ilustra la inducción electrostática debida a las capacitancias que existen entre un hilo de cable de potencia y otro de teléfono. La tensión del conductor de potencia, con respecto a tierra (tensión residual) V_1 se divide entre la capacitancia de las líneas de potencia y teléfono C_{PT} y la de teléfono a tierra C_{TG} , según la ecuación (2.3)

$$V_s = \frac{Z_T}{\frac{1}{j\omega C_{PT}} + Z_T} * V_t = \frac{C_{PT}}{C_{PT} + C_{TG}} \cdot V_t \quad (2.3)$$

Donde

$$Z_T = \frac{1}{j\omega C_{TG} + \frac{1}{Z_{t1}} + \frac{1}{Z_{t2}}}$$

Debido al efecto de carga que introduce las impedancias Z_{t1} y Z_{t2} y las separaciones relativas, V_s es muy pequeño comparado con V_m y puede ser fácilmente neutralizado por medio del apantallamiento del cable.

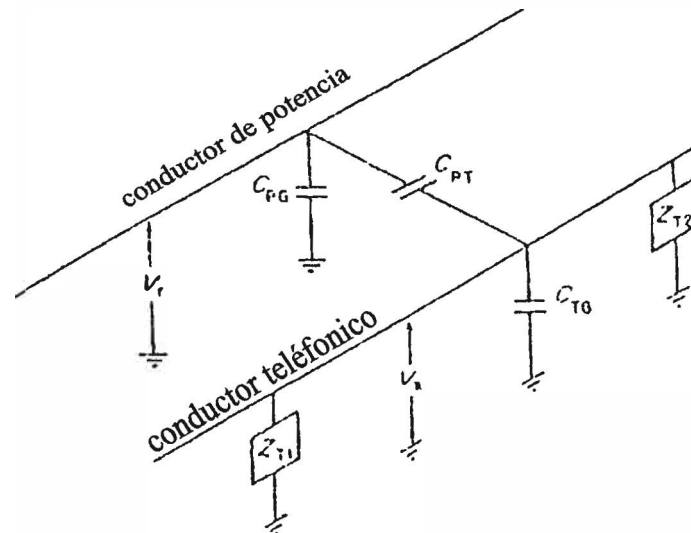


Fig. 2.4: Inducción Electrostática

2.3.4. Acoplamiento Conductivo

En la práctica, debido a asimetría en sus diversos componentes, todo sistema de potencia produce corrientes residuales en el neutro. Una parte de estas corrientes retorna a los transformadores por el neutro y otra, en el caso de múltiples neutros a tierra (MEN) a través de tierra. Las corrientes de tierra causarán una elevación del potencial de tierra en el electrodo de puesta a tierra.

Si un terminal de la línea telefónica está conectado a tierra, en la región de influencia de este potencial de tierra elevado, se experimentarán subidas de tensión a lo largo de la línea.

Esta fuente de interferencias es un problema creciente como consecuencia de los siguientes factores:

Los sistemas (MEN) tienen niveles altos de corrientes de ruido.

Las resistencias de tierra de las centrales telefónicas están aumentando como consecuencia de la disminución del uso de cable con armadura de plomo y el alto costo de conseguir resistencias de tierra bajas.

A pesar del punto anterior la impedancia a tierra de las centrales telefónicas es relativamente baja para los sistemas MEN y en estos casos la tensión de ruido que aparece en el sistema de tierra puede ser alta.

2.4. Otros Efectos más Importantes

Otros de los efectos más importantes de las corrientes armónicas en los circuitos de comunicaciones son los que a continuación se detalla.

2.4.1. Susceptibilidad de los Circuitos Telefónicos

El efecto que una línea con armónicos ejerce en otra de comunicación puede averiguarse considerando la susceptibilidad del circuito de comunicaciones a la interferencia por inducción. Con este fin hay que tener en cuenta tres características importantes:

Los efectos relativos de interferencia de las distintas frecuencias.

La simetría del circuito de comunicación.

El apantallamiento metálico de los cables y otros componentes enterrados.

2.4.2. Peso relativo de los armónicos

El efecto de interferencia no es uniforme en todo el espectro de audiofrecuencia. El oído humano "Standard" en combinación con el receptor telefónico tiene la máxima sensibilidad alrededor de los 1,000 Hz. A fin de obtener una indicación aproximada de la interferencia causada por cada armónico se utilizan varios sistemas de ponderación que tienen en cuenta la respuesta del receptor telefónico y la sensibilidad del oído. Los dos sistemas de uso más general son:

El Peso Sofométrico de la CCITT (Internacional Consultation Commission on Telephone and Telegraph Systems) que es el más extendido en Europa.

El Peso C-message propuesto por Bell Telephone Systems (BTS) Edison Electric Institute (EEI) usado en EE.UU y Canada.

En los 2 sistemas los factores de peso se han ido ajustando de acuerdo a las mejoras de los circuitos telefónicos.

2.4.3. Peso Sofométrico

La curva de peso sofométrico, propuesto por CCITT se muestra en la Figura 2.5, facilita la evaluación del efecto de interferencia teniendo en cuenta la sensibilidad del oído humano en combinación con el receptor telefónico.

En la práctica la gravedad del problema se determina con la ayuda de un sofómetro, que es un voltímetro de valor eficaz con un filtro que tiene una característica de frecuencia igual a la de la curva sofométrica.

El nivel de interferencia se expresa en función de un Factor de Forma Telefónico (TFF) un valor adimensional independiente de la configuración geométrica del acoplamiento. Se expresa en la relación (2.4)

$$\text{TFF} = \frac{\text{Tensión perturbadora equivalente a una frecuencia de 800 Hz}}{\text{Tensión de servicio en la línea de potencia}} \quad (2.4)$$

La tensión de servicio de una línea de potencia es la tensión nominal que la designa.

La tensión perturbadora equivalente es una tensión de 800 Hz que, aplicada a la misma línea de potencia, causaría el mismo efecto de interferencia en una línea telefónica próxima que la combinación total de la tensión nominal y sus armónicos.

Matemáticamente el factor TFF tiene la ecuación (2.5):

$$TFF = \frac{1}{U} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (K_f P_f U_f)^2 \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

Donde:

U es la tensión eficaz de la línea de transmisión

U_f es la tensión a la frecuencia f

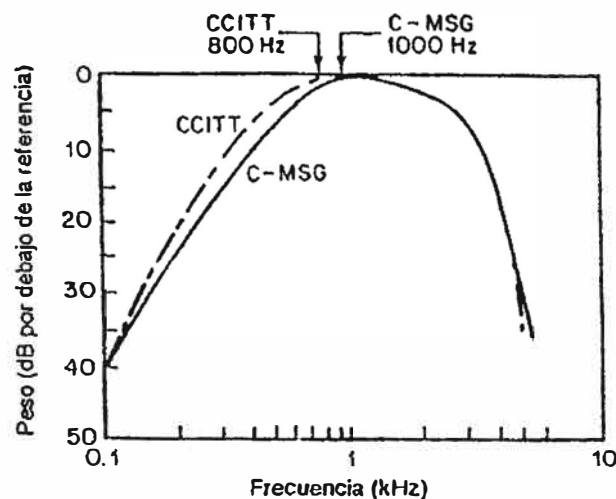


Fig. 2.5: Comparación de pesos propuestos por BTS y CCITT
 $K_f = f/800$ es un factor de acoplamiento
 P_f es el peso sofométrico dividido por 1000

La tensión sofométrica eficaz es de acuerdo a la ecuación (2.6):

$$V_{\phi} = \left[(P_f V_f)^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

Donde V_f es el valor eficaz de la tensión longitudinal o transversal de la línea telefónica de frecuencia f.

Las normativas CCITT recomienda que el peso sofométrico total de ruido en un circuito telefónico resulte en una tensión menor de 1 mV, a circuito abierto.

2.4.4. TIF (Factor de Influencia Telefónico)

Es una medida usada para describir el ruido telefónico originado por los armónicos de tensión y corriente de los sistemas de potencia. TIF es ajustado sobre la base de la sensibilidad del sistema telefónico y el oído humano para ruidos en varias frecuencias.

El TIF de una onda de tensión o corriente es la relación entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores eficaces ponderados de todos los componentes senoidales y el valor eficaz (no ponderado) de la onda completa. En la Figura 2.6 puede verse los factores de ponderación TIF en 1,960.

FREQ	TIF	FREQ	TIF	FREQ	TIF	FREQ	TIF
60	0.5	1020	5100	1860	7820	3000	9670
180	30	1080	5400	1980	8330	3180	8740
300	225	1140	5630	2100	8830	3300	8090
360	400	1260	6050	2160	9080	3540	6730
420	650	1380	6370	2220	9330	3660	6130
540	1320	1440	6560	2340	9840	3900	4400
660	2260	1500	6680	2460	10340	4020	3700
720	2760	1620	6970	2580	10600	4260	2750
780	3360	1740	7320	2820	10210	4380	2190
900	4350	1800	7570	2940	9820	5000	840
1000	5000						

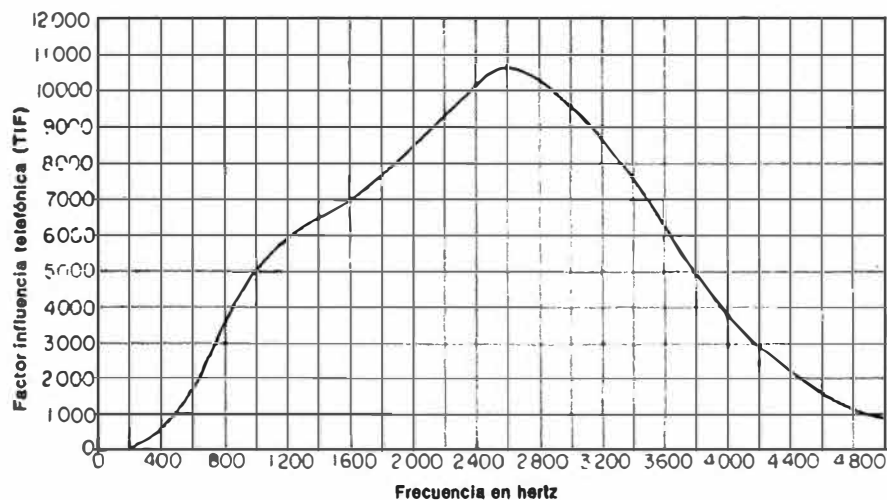


Fig. 2.6: Ponderaciones del Factor de Influencia Telefónica

2.4.5. Criterio C-message

El sistema de peso C-message usa un Factor de Influencia Telefónico (TIF). También TIF es una magnitud adimensional que se usa para describir la interferencia entre una línea de potencia y la telefónica, tiene la ecuación (2.7):

$$\text{TIF} = \frac{1}{U} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (K_f P_f U_f)^2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Donde U es la tensión eficaz de la línea de transporte de energía. U_f la tensión armónica de frecuencia f , $K_f = 5000 (f/1000) = 5f$ el coeficiente de acoplamiento y P_f es el peso del armónico de frecuencia f , siendo 1 su máximo valor para $f = 1000$ Hz .

Los sistemas sofométrico y C-message se diferencian muy poco, tal como se ilustra en la Fig. 2.5; la relación entre los factores correspondientes es como especifica la ecuación (2.8):

$$\frac{\text{TIF}}{\text{TFF}} = 4,000 \quad (2.8)$$

Es decir un TIF de 80 por unidad corresponde a un TFF de 2%.

2.4.6. Los Productos IT y KVT

El Producto IT está expresado en la ecuación (2.9) y, el producto KVT en la ecuación (2.10)

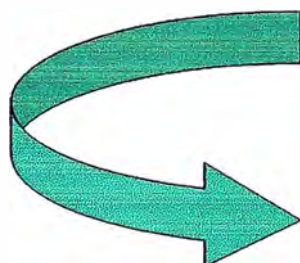
Interferencia en Líneas Telefónicas

Influencia en Corriente

$$\text{Producto IT} = \left(\sum_{h=1}^H [I_H \cdot \text{TIF}]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

Influencia en Tensión

$$\text{Producto kVT} = \left(\sum_{h=1}^H [kV_H \cdot \text{TIF}]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$



Inyección de ruido
Destrucción de equipos



Fig. 2.7: Interferencia en líneas telefónicas, tanto de la corriente como de tensión

En este caso las tensiones o corrientes de las líneas de transporte se representan por medio de una tensión o corriente única obtenida corrigiendo cada tensión o corriente armónica por un coeficiente de peso de acuerdo con el sistema utilizado (BTS-EEI o CCITT).

En el sistema BTS-EEI, es como se describe en la ecuación (2.11):

$$\text{IT} = \left[\sum_{n=1}^{\infty} (K_r P_r I_r)^2 \right]^{1/2} = \left[\sum_{n=1}^{\infty} (T_r I_r)^2 \right]^{1/2} = I(\text{TIF}) \quad (2.11)$$

Donde I_f es la corriente eficaz de frecuencia f y T_f es el valor de TIF correspondiente a la frecuencia única.

El producto $KV*T$ se obtiene de forma similar usando tensiones en lugar de corrientes.

La Tabla 2.1 indica los conceptos análogos de los sistemas BTS-EEI y CCITT

Tabla 2.1: Conceptos análogos de BTS-EEI y CCITT

BTS - EEI	CCITT
Peso C-message	Peso sofométrico
Factor de Influencia Telefónico	Factor de Forma Telefónico
Tensión C-message ponderada - Longitudinal - Transversal	- Tensión sofométrica ponderada - Tensión sofométrica
Producto $I*T$	Corriente perturbadora equivalente (EDI)
Producto $KV*T$	Tensión perturbadora equivalente (EDV)

2.4.7. Equilibrio a Tierra del Circuito Telefónico

Si la línea telefónica o Terminal equivalente, no están perfectamente equilibrados con respecto a tierra, una tensión inducida longitudinalmente en aquella se puede transformar en tensión transversal y es ésta la que aparece en el auricular y produce el ruido.

Si las impedancias a tierra de los dos hilos que forman el circuito telefónico en la Fig 2.1 son diferentes, y suponiendo que los dos hilos están sometidos a la misma inducción longitudinal, las corrientes que circularán por los hilos serán diferentes

Los principales factores que influyen en la falta de simetría a tierra son:

Todo tipo de circuito de dispersión a tierra, por ejemplo, por la superficie de los aisladores o a través de los aislamientos de los cables.

Los desequilibrios de la aparamenta, bien del abonado (como las extensiones de timbre) o de la central telefónica.

2.4.8. Apantallamiento

El uso de una pantalla metálica que encierre el circuito telefónico en toda su longitud es el medio más efectivo de eliminar la inducción electrostática. Los cables subterráneos también son inmunes a la inducción electrostática debido al efecto conductor de la tierra que les rodea. Las pantallas metálicas o vainas no son completamente efectivas, en la eliminación de la inducción electromagnética.

CAPÍTULO III

MEDIOS DE DISMINUCIÓN DE LOS EFECTOS

3.1. Recomendaciones ante la presencia de ruidos

Cuando se detectan problemas de ruidos se recomienda seguir los siguientes pasos.

Comprobar el ruido de tensión transversal en el circuito telefónico. Si la fuerza electromotriz es inferior a 1 mV, no es necesario continuar la investigación.

Determinar si la inducción es electrostática o electromagnética.

Comprobar la simetría a tierra de la línea telefónica y de los receptores.

Si se considera oportuno, determinar el Factor de Forma Telefónico en varias partes del sistema de potencia, para averiguar la situación de la fuente del ruido.

Una vez conseguida esa información se considerarán métodos de disminución de interferencias; como ya se indicó anteriormente se puede conseguir mediante 2 formas:

- a) Reduciendo la influencia del sistema de potencia, bien sea aumentando la distancia entre las líneas de potencia y comunicación (solución cara) o reduciendo el contenido armónico de la línea de potencia.
- b) Reduciendo la susceptibilidad de los circuitos de comunicación. Esto se consigue mediante cambio en las rutas de los circuitos afectados, por el uso de bobinas de supresión de ruido, transformadores de neutralización de ruido, apantallamientos de cables etc.

3.2. Métodos de Reducción de Interferencia

3.2.1. Bobinas de supresión de ruido

Esta solución permite conseguir factores de reducción superiores a 25 dB en algunos casos. En general las bobinas de supresión sólo son útiles en la compensación de la falta de simetría de relevadores de teléfonos de mala calidad. Su efecto es aumentar la impedancia longitudinal de la línea y como consecuencia reducir los niveles de corriente y de tensión transversal de ruido.

3.2.2. Transformadores de neutralización de ruido

El principio de neutralización consiste en la inducción de una tensión de ruido igual y

opuesta a los pares de cables afectados, a fin de reducir el ruido inducido longitudinalmente. Se pueden conseguir factores de reducción del orden de 15 a 20 dB.

3.2.3. Cable apantallado

Aunque esta es una solución cara, permite conseguir factores de reducción por encima de los 60 dB. Su aplicación sólo es práctica en el caso de nuevas instalaciones.

3.2.4. Circuitos derivados

Esta solución se basa en el uso de circuitos inmunes al efecto de inducción; normalmente usan modulación codificada de pulsos o modulación de frecuencia.

La mejora conseguida depende de las circunstancias de cada caso.

3.3. Propósito de la Normatividad y Reglamentaciones

La importancia de la energía eléctrica en todas las actividades de la sociedad y particularmente la importancia de las técnicas de su medida de calidad, ha dado lugar a un marco legislativo que más adelante abordaremos.

Podemos manifestar que el propósito de las normas y estándares relacionados con la limitación de las armónicas en los sistemas eléctricos de potencia puede resumirse en lo siguiente:

- 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.

3.4. Estándares Nacional e Internacional

Antes de revisar la normatividad en el Perú así como en algunos países, es preciso que se tenga en cuenta algunas precisiones que a continuación se detalla:

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 más detalladamente los estándares, se verá 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. Otro criterio, establece que cada consumidor puede inyectar armónicas al sistema en proporción a la potencia que demanda. Este criterio es empleado por Nueva Zelanda y Alemania.

Del mismo modo la normatividad o recomendaciones, establecen límites para las siguientes variables.

- Armónicas individuales de tensión (Valor Efectivo ó RMS).
- Armónicas individuales de corriente. (Valor Efectivo ó RMS).
- Distorsión armónica total de tensión o de corriente, definida por la ecuación (3.1):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad (3.1)$$

Donde V_1 es la tensión fundamental (o corriente fundamental) y V_h tensión (o corriente) de la armónica h-ésima.

Factor de influencia telefónica TIF (Telephone Influence Factor) y producto IT.

Tipo de convertidor que puede ser conectado.

A continuación exponemos algunas normas:

A) En Europa

La IEC (International Electrotechnical Commission) y el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) han establecido normas que limitan perturbaciones de baja frecuencia en redes industriales y domésticas, como las normas IEC 61000 y EN 61000.

La IEC exige en su estándar IEC 61000-3-2 que los fabricantes limiten el consumo de armónicos de corriente de sus productos. Este estándar se aplica a todas las cargas monofásicas y trifásicas de menos de 16 A por fase. Los productos deben certificarse en laboratorios autorizados para asegurar que cumplen el IEC 61000-3-2, efectivo desde el 1 de enero del 2001. El estándar clasifica las cargas eléctricas en cuatro grupos, tal y como muestra la Tabla 3.1. La clasificación original viene reflejada en la parte izquierda de la tabla, pero tras diversas negociaciones con los principales fabricantes, la Enmienda A14, reflejada en la parte derecha de la tabla, se hizo efectiva el 1 de Enero del 2004.

Los convertidores usados en sistemas fotovoltaicos con conexión directa a la red eléctrica suelen estar englobados en la clase A. En los inversores estudiados en este proyecto las corrientes de salida son siempre inferiores a 16 A, y las cargas son simétricas y equilibradas, por lo que pertenecen claramente al equipamiento de clase A.

La Tabla 3.2 muestra los límites de corriente armónica permitidos por la IEC 61000-3-2 para el equipamiento de clase A. Nótese que estos límites corresponden a armónicos de corriente individuales, y no especifican la distorsión armónica total (THD).

B) España

En España, además del estándar IEC 61000 para limitar la distorsión armónica de corriente, el límite de distorsión de tensión aceptado por UNIPEDA (Unión de productores y distribuidores de energía eléctrica) es de $THDV = 5\%$ para redes industriales en baja tensión, mientras que en media y alta tensión el nivel máximo recomendado por los organismos internacionales es de

$$THDV = 3\% \text{ os de la Clase A Standard IEC 61000-3-2.}$$

C) Estados Unidos

En Estados Unidos los límites de armónicas están establecidos por el estándar IEEE Std 519 - 1992, titulado "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System".

Tabla 3.1: Clasificación de cargas según es Standard IEC 61000-3-2

Clasificación EN 61000-3-2	Clasificación Enmienda A14
Clase A: Equipos trifásicos equilibrados, equipos monofásicos no incluidos en otras clases.	Clase A: Equipos trifásicos equilibrados: aparatos domésticos excluyendo equipamiento identificado como clase D; herramientas (excepto portátiles), reguladores para lámparas incandescentes, equipos de audio; cualquier otro no incluido en las demás clases.
Clase B: Herramientas de potencia portátiles	Clase B: (sin cambios)
Clase C: Equipos de iluminación de más de 25 W.	Clase C: Todo equipo de iluminación excepto reguladores de lámparas incandescentes.
Clase D: Monofásicos, sin motor, bajo 600 W y con "forma de onda especial".	Clase D: Monofásicos, bajo 600 W, PC's, monitores de PC's, receptores de TV...

Tabla 3.2: Límites para los equipos de la Clase A Standard IEC 61000-3-2.

Orden de armónico h	Corriente armónica máxima permitida (A)
Armónicos impares	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq h \leq 39$	$2.25 / h$
Armónicos pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq h \leq 40$	$1.84 / h$

En las Tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se listan los límites de corriente armónica basado en el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia al cual la carga está conectada. La relación I_{sc}/I_L es la relación de la corriente de cortocircuito disponible en el punto de acoplamiento común (PCC), con respecto a la máxima corriente de carga fundamental. Se recomienda que la corriente de carga, I_L , sea calculada como el promedio de la corriente de demanda máxima para los 12 meses precedentes. Así, como el tamaño de la carga del usuario disminuye con respecto al tamaño del sistema, el porcentaje de corriente armónica que el usuario se permita inyectar al sistema de la subestación alimentadora se incrementa. Este protege a otros usuarios del mismo alimentador así como a la subestación alimentadora, que es requerida para brindar una segura calidad de voltaje a sus clientes.

Toda generación, si está conectada al sistema de distribución, subtransmisión ó transmisión, es tratada como la distribución de la subestación alimentadora y es por consiguiente sostenida por estas prácticas recomendadas

Tabla 3.3: Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General (desde 120 V hasta 69.000 V)

Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
$< 20^*$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Incluso los armónicos pares son limitados al 25% de los límites armónicos impares anteriores.

Las distorsiones de corriente que resulten en una compensación DC, p.e. convertidores de media onda, no son permitidas.

*Todo equipo de generación de potencia está limitado a estos valores de distorsión de corriente, sin tener en cuenta la relación I_{sc}/I_L real.

Donde

I_{sc} = máxima corriente de cortocircuito en el PCC.

I_L = máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC.

Tabla 3.4: Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Subtransmisión en General (desde 69.001 V hasta 161.000 V)

Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	5.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Tabla 3.5: Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Transmisión en General (>161 Kv)

Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Tabla 3.6: Límites de Distorsión de Voltaje para Distribuidor

Voltaje de Barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual (%)	Distorsión de Voltaje Total THD (%)
69 kV y por debajo	3.0	5.0
69.001 V a 161 kV	1.5	2.5
161.001 V y por encima	1.0	1.5

NOTA: Los sistemas de alto voltaje pueden estar por encima del 2% de THD cuando la causa es un terminal HVDC que se atenuará por el tiempo que se derive para un usuario.

D) 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. Los límites de armónica para tensión son expresados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Límites de armónicas para 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

En este documento también se imponen límites al nivel de armónicas de corriente que pueden circular en alguna conexión a algún consumidor. Los límites no están expresados como niveles de corriente absolutos, sino que como un porcentaje de una corriente de referencia del consumidor. Esta corriente de referencia se calcula de la potencia media horaria del consumidor (P_c) y la tensión nominal del sistema (V_n) como se indica en la ecuación (3.2):

$$I_{ref} = \frac{P_c}{\sqrt{3} V_n} \quad (3.2)$$

Los límites obtenidos para las armónicas de corrientes son los que se expresan en la Tabla 3.8:

Tabla 3.8: Límites de armónicas de corrientes.

TENSIÓN DEL SISTEMA	THD DE CORRIENTE (%)	CORRIENTE ARMÓNICA INDIVIDUAL
3 – 20 kV	10	8
30 - 45 kV	7	6
110 kV	5	4

Para la capacidad de los equipos convertidores que es posible conectar en un sistema, este estándar también emplea como un valor de referencia la capacidad de cortocircuito del sistema en el punto de conexión, siendo los valores expresados en porcentaje, según aparece en Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Potencia del convertidor como porcentaje de la potencia de Cortocircuito

NÚMERO DE PULSOS	TENSIÓN DEL SISTEMA 20 kV	TENSIÓN DEL SISTEMA 30 kV
< 6	0.5	-
6	1	0.5
12	2	1
> 12	3	2

E) 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 (3.1).

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).

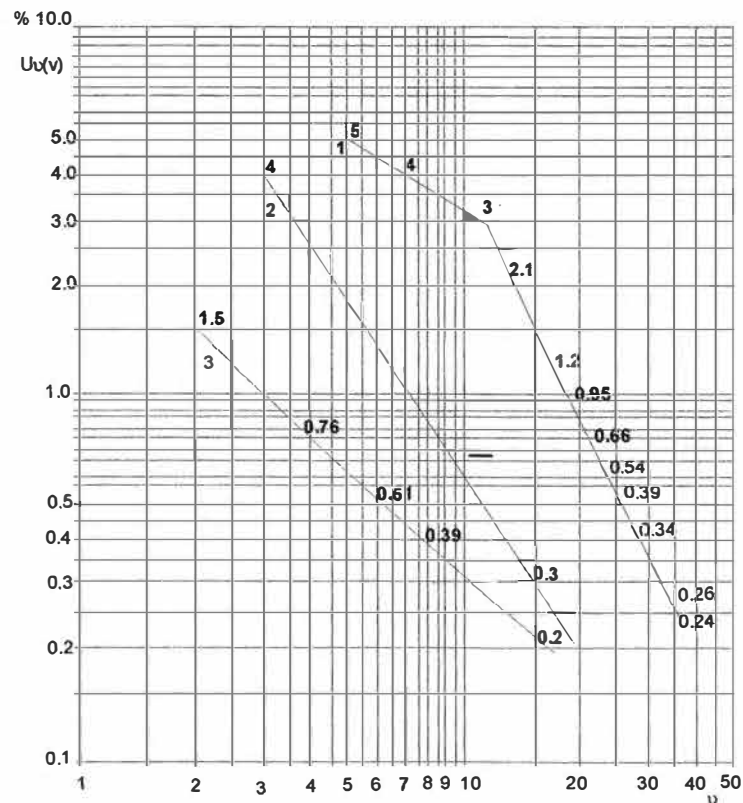


Fig. 3.1: Nivel aceptable para las armónicas de tensión, según el estándar Alemán
Curva 1: Armónicas impares no divisibles por 3.

Curva 2: Armónicas impares divisibles por 3.

Curva 3: Armónicas pares.

- La suma ponderada de las armónicas debe cumplir la condición (3.3)

$$\sum_{v=2}^{40} v^2 u_v^2 < 0,5 \quad (3.3)$$

- Tensión armónica admisible que puede ser generada por un cliente individual, el cual es expresada en la ecuación (3.4):

$$U_{vzul} = \frac{u_v k_N k_A}{k_{resv}} \quad (3.4)$$

Donde:

u_v : Tensión de la armónica v -ésima referida a la fundamental

u_{vzul} : Tensión de la armónica admisible para un cliente individual

k_n : Factor de nivel de tensión

k_A : Factor de conexión (o de potencias)

k_{resv} : Factor de resonancia

Tabla 3.10: Factor de nivel de Tensión k_N

NIVEL DE TENSIÓN	$V = 3n \pm 1$ =2,4,5,7,8	$V=3n$ =3,6,9 ...
Alta Tensión	0,1...0,3	-
Media Tensión	0,4...0,7	-
Baja Tensión	0,2...0,3	1,0

El factor de conexión k_A se obtiene a la relación (3.5)

$$K_A = \frac{S_{consumida}}{S_N} \quad (3.5)$$

Donde:

$S_{consumida}$: Potencia demandada por el cliente

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

Una desventaja de la tensión armónica admisible, definida por la ecuación 3.1, es que ésta no puede ser medida directamente. Para superar este inconveniente, es posible calcular a partir de la ecuación 3.1, la potencia de un convertidor equivalente para el cual se pueden

determinar las corrientes armónicas. Estas corrientes armónicas pueden ser medidas experimentalmente.

F) 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 3.11: 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 3.12: Distorsión armónica total (THD)

TENSIÓN DEL SISTEMA	PORCENTAJE THD (%)
430 /250 V	4.0
3.3 kv a 24 kV	3.0
Hasta 84 Kv	1.0

G) Polonia

Las normas de distribución de energía eléctrica establecidas por el gobierno (4) establecen los parámetros fundamentales de la tensión de entrada

H) Perú

La norma establece con precisión los límites de distorsión armónica que deben cumplir las empresas distribuidoras de energía eléctrica. Si esto no se cumple, el usuario debería solicitar que el problema se solucione. Nuestro país se allana a la norma Norteamericana, vale decir a la que recomienda la IEEE 519-1992, cuyos lineamientos son:

- Limita la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red.

Limita el nivel de la tensión armónica que un distribuidor puede proporcionar a un consumidor.

B) Argentina

La prevención de perturbaciones causadas en las líneas de Telecomunicaciones por cables de energía cercanos, se trata desde las dos perspectivas.

Tabla 3.13: Requisitos relativos a la calidad de energía de la tensión de suministro de suministro en la red de distribución Polaca

Parámetro de tensión de entrada	Limites según (4)
Frecuencia	BT y MT: 50 Hz nominales (49,5 – 50,2 Hz)
Magnitud de tensión	BT y MT: - 10 % - + 5% del valor eficaz en 15 minutos
Armónicos	BT: $THD_u \leq 8\%$, cada armónico $UI \leq 5\%$ MT: $THD_u \leq 5\%$, cada armónico $UI \leq 3\%$
Interrupciones prolongadas	BT y MT: 48 h/año

I) Argentina

La prevención de perturbaciones causadas en las líneas de Telecomunicaciones por cables de energía cercanos, se trata desde las dos perspectivas.

a) En líneas Eléctricas

Con el fin de que los circuitos de energía formados por cables subterráneos no produzcan perturbaciones en cables cercanos de telecomunicación, las instalaciones respectivas deberán ajustarse a las siguientes disposiciones:

Toda máquina rotativa o estática, que forme parte de una instalación de corriente alterna, debe tener curvas de tensión prácticamente sinusoidales tanto para la marcha en vacío como a cualquier carga, ya sea entre las fases como entre fases y punto neutro. Se considera como prácticamente sinusoidal toda forma de curva de tensión cuyo coeficiente de deformación sea inferior a 10 %.

- Para las máquinas de corriente continua instaladas en forma fija, con excepción de las conmutatrices y los rectificadores de mercurio, la variación máxima de la curva de tensión con respecto al valor promedio no deberá excederse de 3 %.

Para los motores de corriente alterna a colector, así como para los motores auxiliares de los vehículos eléctricos en general, se evitarán en lo posible las armónicas superiores

producidas por la conmutación en los colectores. En las instalaciones en que se convierte la corriente alterna en continua, por medio de conmutatrices rotativas o rectificadores de vapor de mercurio, se tomarán medidas especiales para reducir la amplitud de las ondas alternas superpuestas a la corriente continua, instalando filtros adecuados, si ello fuese necesario.

Las instalaciones de tracción eléctrica en que se utiliza el riel como conductor, deberán cumplir con los requisitos establecidos en las Normas de la Comisión Permanente de Electrólisis.

En las redes polifásicas deberá repartirse la carga por igual entre las distintas fases, admitiéndose en alimentadores y líneas, principales un desee equilibrio de 15 %. Para que la distorsión de las ondas de tensión y corriente de los transformadores resulte mínima, la corriente de excitación en vacío, de cualquier transformador individual bajo tensión sinusoidal, medida a la frecuencia y tensión nominales, no debe ser superior al 10 % de la corriente nominal de plena carga.

Un transformador con una corriente de excitación igual o menor de 0,2 A es aceptable a pesar de los límites arriba fijados.

En los transformadores, la tensión aplicada no deberá exceder del 10 % del valor de la tensión nominal, incluso en su borne de tensión más alta.

Los transformadores o grupos de transformadores, no podrán ser conectados con tierra en los puntos de sus arrollamientos que produzcan un desequilibrio en la línea contra tierra.

En caso de desequilibrio o interferencia causada por terceras armónicas producidas por transformadores o autotransformadores conectados con un circuito trifásico de una línea y con conexión a tierra, dichos aparatos deberán estar provistos de arrollamientos secundarios o terciarios de impedancia baja, conectados en triángulo, o de otros dispositivos equivalentes para la supresión de las terceras armónicas. Los transformadores monofásicos que integran un grupo de transformadores con conexión con tierra, deberán ser iguales con respecto a todas sus características eléctricas, con el objeto de no desequilibrar los circuitos.

b) En líneas de telecomunicaciones:

En caso de existir perturbaciones antes de efectuar el reclamo deberá averiguarse si las líneas de telecomunicación llenan las siguientes condiciones:

- Todo montaje o circuito asimétrico con respecto a tierra que impida una conexión con tierra directa y simétrica, deberá conectarse a la línea telefónica por intermedio de un transformador adecuado para mantener la simetría de la línea.
- En el caso de líneas pupinizadas (bobinas de carga), no se permitirá conectar con tierra el punto medio de arrollamiento exterior del transformador, sin intercalar una resistencia.
- Los dos conductores de un circuito de telecomunicación, deberán ser del mismo metal y calibre en cada trecho.
- La perditancia de cada conductor del circuito, deberá ser, en lo -posible, del mismo orden y lo más pequeña que pueda lograrse.
- La simetría de las constantes eléctricas de los conductores de, los circuitos telefónicos con respecto a tierra, debe ser tan perfecta como sea practicable. El equilibrio de un circuito se considerará suficiente, cuando el cociente resultante entre la diferencia de las impedancias de cada rama a tierra, medidas en cualquiera de las extremidades del circuito y la semisuma de las mismas, equivalga a lo sumo, al uno por ciento.

J) Chile

Respecto al escenario futuro, en el documento Proyecto de Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, elaborado por la Comisión Nacional de Energía, versión marzo-95, se establece en el TITULO IX: DISPOSICIONES TRANSITORIAS:

– 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.

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 10 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, que este índice deberá ser inferior a 3% (THDv <3%). y se calculará de acuerdo a la siguiente expresión (3.6):

En la tabla 3.14 se muestran los armónicos de voltaje, permitidos por la norma chilena

$$\text{Índice de distorsión total} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{k=50} V_k^2}}{V_1} \quad (3.6)$$

Tabla 3.14: 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						

Las armónicas pares están limitadas al 25% de los límites establecidos para las armónicas impares.

El índice de distorsión de la corriente se calculará según la expresión (3.7):

$$\text{Índice de distorsión total} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{k=50} I_k^2}}{I_1} \quad (3.7)$$

Armónicas de Corriente

En la Tabla 3.15 se muestra las corrientes armónicas permitidas por la norma chilena

Tabla 3.15: Corrientes armónicas permitidas por la norma chilena.

MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICA DE CORRIENTE EXPRESADA COMO % DE LA FUNDAMENTAL						
ORDEN DE LA ARMÓNICA (ARMÓNICAS IMPARES)						
I _{sc} /I _L	<11	11< = H<17	17< = H<23	23< = H<35	35< H	Índice DI
<= 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Las armónicas pares están limitadas al 25% de los límites establecidos para las armónicas impares

Todos los equipos de generación de potencia están limitados a los valores indicados de distorsión armónica de corriente, independiente de la razón I_{SC}/I_L

Donde:

I_{SC} = Máxima corriente de cortocircuito en el Punto Común de Conexión (PCC)

I_L = Corriente nominal de carga (a frecuencia fundamental) en el PCC

- Para el caso de Clientes en Puntos Comunes de Conexión comprendidos entre 69 Kv y 154 Kv, los límites son el 50% de los límites establecidos en la Tabla
- Para el caso de los Clientes en PCC superiores a 154 Kv se aplicarán los límites de 110 kV en tanto el Ministerio a proposición de la Comisión no fije la norma respectiva

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE CASO (TELEFÓNICA DEL PERÚ)

A manera de caso práctico hemos considerado la configuración de la Planta Externa Telefónica.

4.1. Estructura de la Planta Externa Telefónica

La configuración de una Planta Externa Telefónica se denota en la Figura 4.1

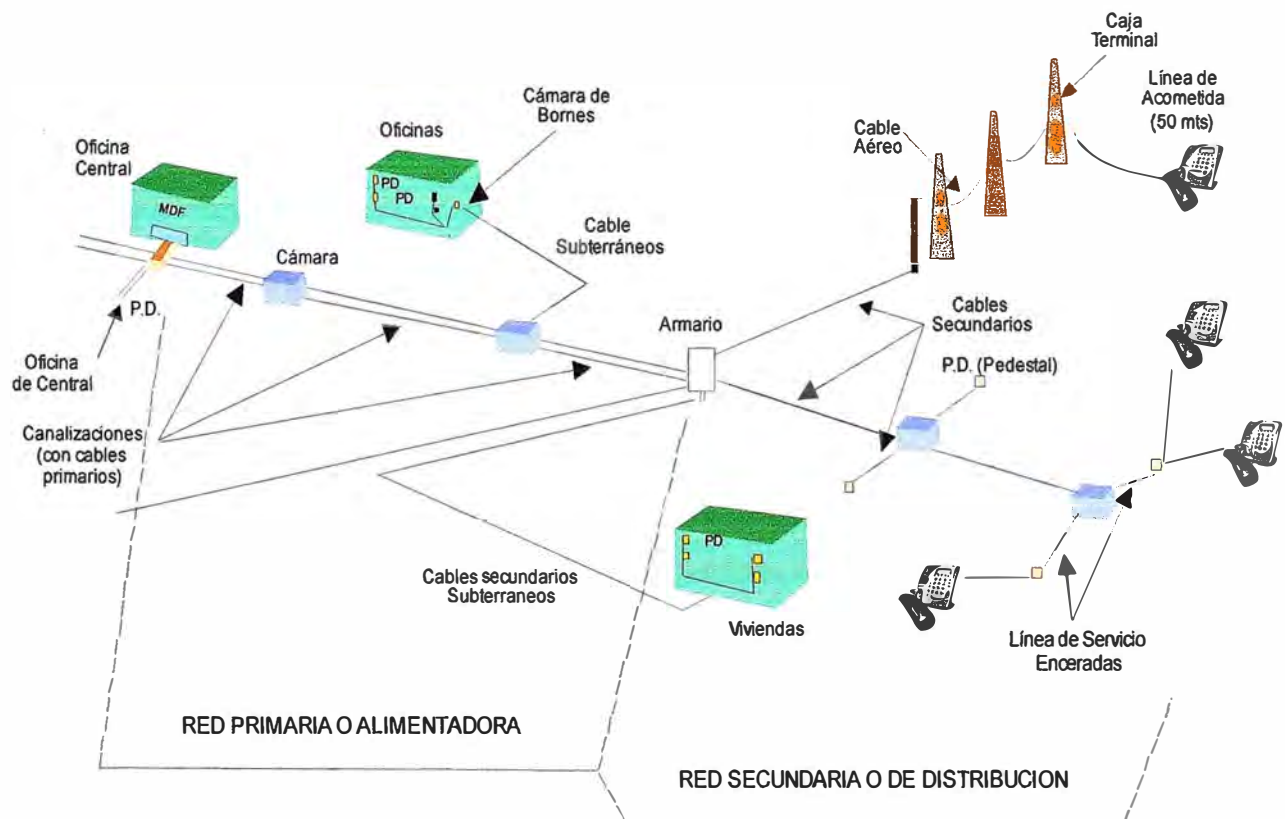


Fig 4.1: Configuración de una Planta Externa Telefónica

Con mayor objetividad y diferenciación se muestra en la Figura 4.2.

4.2.Composición de la Red Telefónica

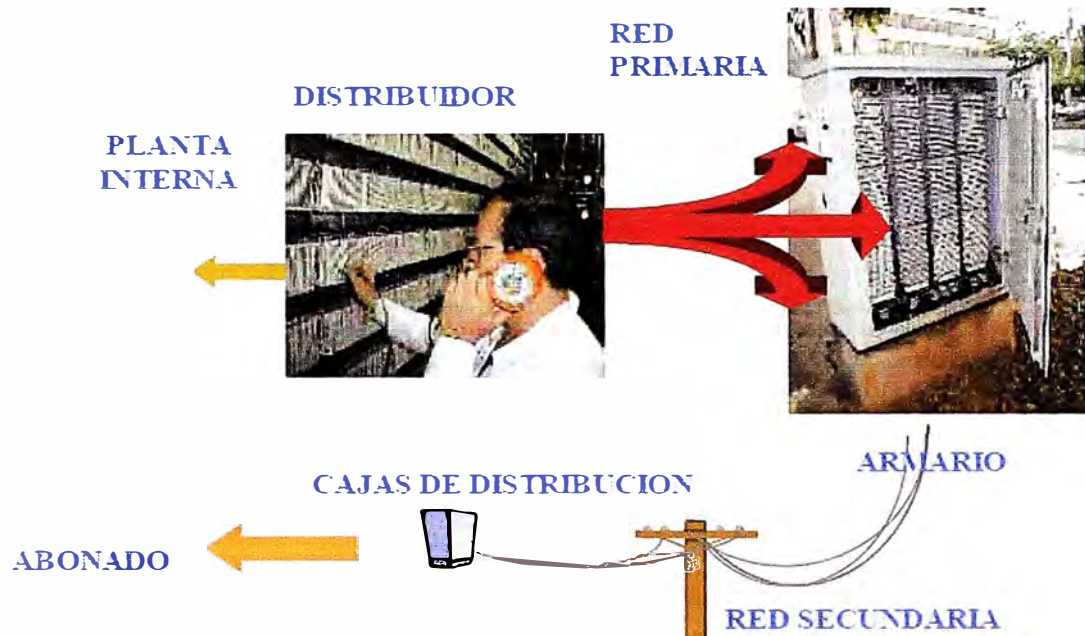


Fig 4.2: Composición de una Planta Externa Telefónica

4.3.Tipos de Red

Una línea telefónica, para abonados esta constituida por un circuito eléctrico a dos hilos (a y b respectivamente), denominados como un par entre las centrales locales y el aparato abonado. Central local es aquella, donde se encuentran todos los equipos de conmutación y planta externa encargados de suministrar el servicio telefónico a los lugares adyacentes a la misma.

Como tratar de instalar una línea telefónica por abonado resultaría imposible, se creó el cable multipar, el cual puede llevar varios pares hasta una determinada posición del proyecto entre la central local y el aparato telefónico. El cable es la línea eléctrica flexible y envuelta en una cubierta protectora que sirve para lograr el intercambio de señales eléctricas de un punto a otro. Al conjunto de cables que se utilizan con este fin se les llama RED.

En la Figura 4.3 se muestran los distintos tipos de Red, que posteriormente pasaremos a describir cada uno de ellos.

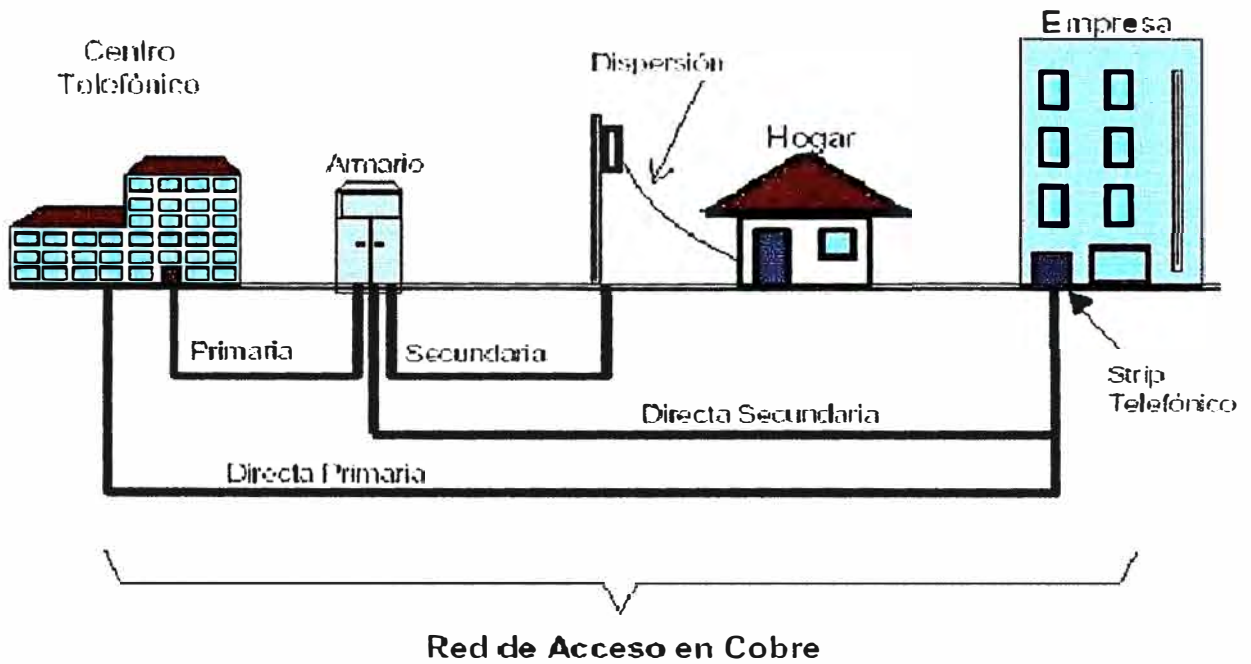


Fig 4.3: Red Directa Primaria o Secundaria

Los tipos de red que conforman la estructura paso a detallar:

a) Red Primaria

Es el conjunto de cables de cobre que inician en el distribuidor principal (MDF) de las centrales y son repartidos en diferentes puntos de subrepartición (armarios) instalados en diferentes puntos de las zonas a atender. En la figura 4.4 se muestra una Red Primaria

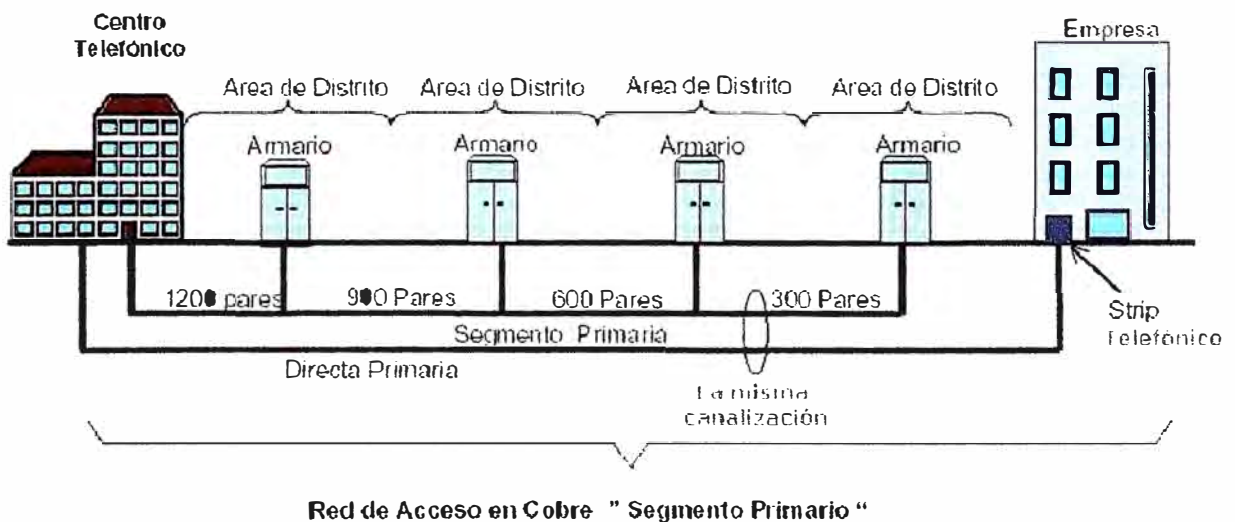


Fig 4.4: Red Primaria

b) Red Secundaria

Es aquella que da continuidad eléctrica desde los puntos de subrepartición (armarios) hasta la cajas terminales instaladas en: postes, fachadas, interiores y azoteas. En la figura 4.5 se muestra una Red Secundaria

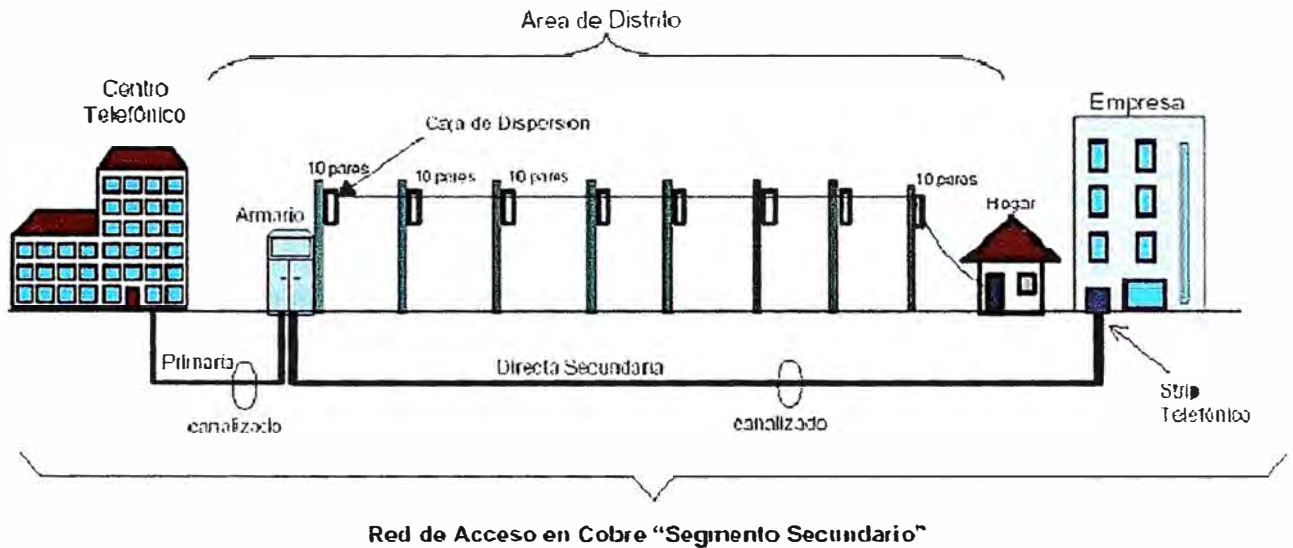


Fig 4.5: Red Secundaria

c) Red Rígida o Directa

Es aquella que tiene continuidad eléctrica desde el distribuidor hasta la caja terminal. Entre otras, una ventaja de este tipo de red es su bajo costo. En la Figura 4.6 se puede apreciar una Red Rígida o Directa.

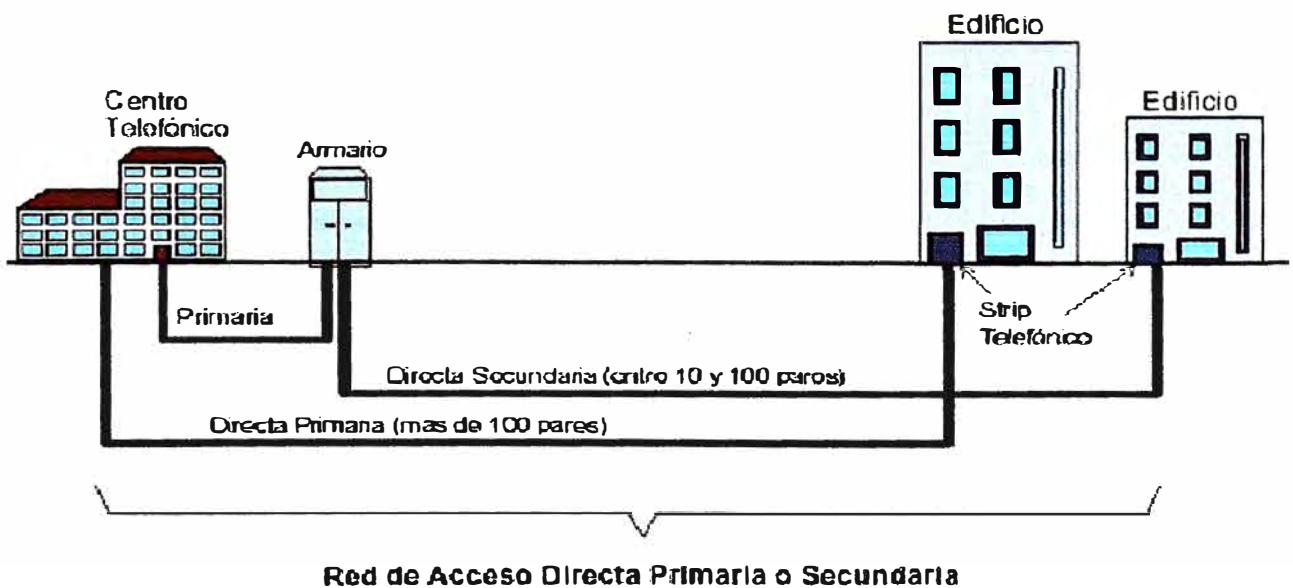


Fig 4.6: Red Rígida o Directa

d) Red de Enlace Troncal

La Función de esta red es dar continuidad eléctrica entre una central y otra. Mientras más demanda de servicio exista, más centrales deberán existir, con lo cual la red de enlaces aumenta.

El rango de capacidad de estas redes varía según los equipos y las centrales, éstos pueden variar entre cables convencionales, y fibra óptica.

4.4.Elementos que constituyen la Red Telefónica

Los principales elementos que están presentes en un plantel telefónico lo podemos citar:

- Distribuidor Principal MDF
- Sala o galería de cables
- Cámaras de Distribución Subterráneas
- Canalización y Postes
- Cajas Terminales
- Cables Multipares
- Red de Dispersión
- Aparato Telefónico

4.5.Instalaciones Seguras

A fin de dotarla de seguridad a la red telefónica contra los efectos electromagnéticos se deben contemplar factores básicos, que serán considerados para determinar las áreas en que deberán instalarse o constituirse unidades de protección, que pasamos a describir:

- Exposición a líneas de transporte de energía, cuando se cruzan con la línea telefónica, y cuando están en paralelo ambas líneas (contacto directo con líneas de energía).
- En cercanía a antenas de empresas de radio y televisión.
- En cercanía a sistemas de fuerza (tranvías).
- La frecuencia de las tormentas.
- Acoplamientos inductivos.
- Acoplamientos capacitivos.
- Circulación de corriente por el suelo.
- Asimetría con respecto a tierra de los circuitos de telecomunicaciones.
- Resistividad del suelo.

REGLA GENERAL: Como regla general no se deberá instalar ni construir tomas de tierra, próximas a tomas de tierra de líneas de energía o instalaciones tales como: Subestaciones

Aéreas, Centros de Generación Eléctricas, Torres de Alta Tensión.

4.5.1. Protección de las Centrales Telefónicas

- En el Repartidor Principal, la protección se hará a través de protectores instalados en los block de conexión.
- Para efectos de protección eléctrica, la carcasa o estructura del Repartidor Principal, estará sólidamente conectada al sistema de puesta a tierra.
- Todo cable que ingresa a la Oficina Central se vinculará con el sistema de puesta a tierra desde los empalmes de formas.
- Los blocks de conexión serán vinculados entre sí y conectados a la barra de puesta a tierra del Repartidor Principal.

4.5.2. Protección en los Cables Subterráneos

- La separación de los cables telefónicos subterráneos con los cables de energía, en los casos de paralelismo será como se indica en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Distancias de separación en Redes Subterráneas.

VOLTAJE	8,700 V	8.700 a 50 000 V
DISTANCIA DE SEPARACIÓN MÍNIMA	0,30 m	0,6 m

- De no ser posible conseguir las distancias de separación en el punto anterior, se separará el cable telefónico del de energía eléctrica con planchas de hormigón o ladrillo.
- Dar continuidad eléctrica a la pantalla de los cables, hasta la varilla de tierra cada 500m.
- Al inicio y al final de un tramo de cable.
- Vincular la pantalla de todos los cables en una cámara de registro.
- Alejar la puesta a tierra de los cables de telecomunicaciones de los sistemas de tierra de los cables de energía.
- Se plantea como una buena resistencia a tierra menos de 25 ohmios.

4.5.3. Protección en el Cable Aéreo

- En todos los puntos de empalmes, asegurar la continuidad de pantalla del cable telefónico. De igual forma se asegurará la continuidad del mensajero.
- Vincular la continuidad de pantalla del cable telefónico y el cable mensajero a la varilla de tierra; en postes iniciales y finales, tramos intermedios donde se supere la distancia de 500 m. En paralelismos con líneas de energía eléctrica se instalarán puestas a tierra cada 300 m.

- Si más de un cable telefónico es instalado en la misma estructura, soportados por mensajeros diferentes, las pantallas de los cables telefónicos y cables mensajeros serán unidas en una sola vinculación, al inicio y al término del paralelismo.
- En el diseño de la red telefónica, se evitarán los cruces y/o paralelismo de las instalaciones de los cables telefónicos con los cables de energía.
- Los cables telefónicos no se aterrarán en postes cercanos a aterramientos de la red de energía eléctrica.
- Las separaciones indicadas en la Tabla 4.2, se tomarán desde el cable de energía a cualquier punto del plantel de telecomunicaciones.
- De no cumplirse la separación indicada en la Tabla 4.2 para tensiones menores de 750 V, se protegerá nuestro cable con un protector polimérico de 1 m instalado simétricamente al punto de cruce. Para las tensiones diferentes, se cambiará de ruta o se instalará el cable en canalización subterránea.
- Se plantea como una buena resistencia a tierra menos de 25 ohmios.
- Cuando por razones de excepción no se puedan evitar los cruces y/o paralelismo entre los cables de telecomunicaciones y los de energía, estos deberán cumplir con la separación mínima que se debe guardar, para seguridad del trabajador y resguardo de la planta, de acuerdo a lo establecido en el presente tema y que se detalla a continuación.

Tabla 4.2: Distancias de separación en Redes Aéreas

DISTANCIA DE SEGURIDAD MÍNIMA (m)	VOLTAJE
0,60	0 - 750 V
1,20	751 - 10 KV
1,80	>10 KV - 23 KV
1,80 MÁS 0,10 POR CADA KV	>23 KV

- El trabajador deberá cumplir con las reglas de acercamiento a conductores o partes energizadas, las que consisten , en que ningún trabajador deberá acercarse o tomar objeto conductor dentro de las distancias a partes energizadas expuesta, indicadas en la Tabla 4.3

4.5.4. Protección de Armarios

- Vincular la estructura metálica del armario desde el borne de aterramiento con la varilla de tierra.

Vincular la pantalla de los cables primarios y secundarios a la estructura del armario.

Se plantea como una buena resistencia a tierra menos de 25 ohmios.

Tabla 4.3: Distancia del trabajador a la Red Eléctrica, teniendo en consideración el nivel de tensión.

RANGO DE TENSIONES	DISTANCIA AL TRABAJADOR (m)
51 V a 300 V	Evitar c ontac to
300 V a 750 V	0,35
751 V a 15,0 KV	0,65
15,1 V a 36,0 KV	0,95
36,1 KV a 46,0 KV	1,05
46,1 KV a 121,0 KV	1,25
121,1 KV a 140 KV	1,40

4.5.5. Protección de Cajas Terminales

Vincular a la varilla de tierra las cajas terminales desde su respectivo borne de tierra. Siempre se deberán emplear los protectores en la caja terminal, para evitar las inducciones, si la caja terminal no está acondicionada para el uso de protector, éste se instalará en el Block de Conexión.

Vincular el cable mensajero y el borne de tierra del terminal, a través de una sola conexión.

4.5.6. Protección de la Red de Dispersión y Equipo de Abonado

Una Red de Dispersión se aprecia en la Figura 4.6

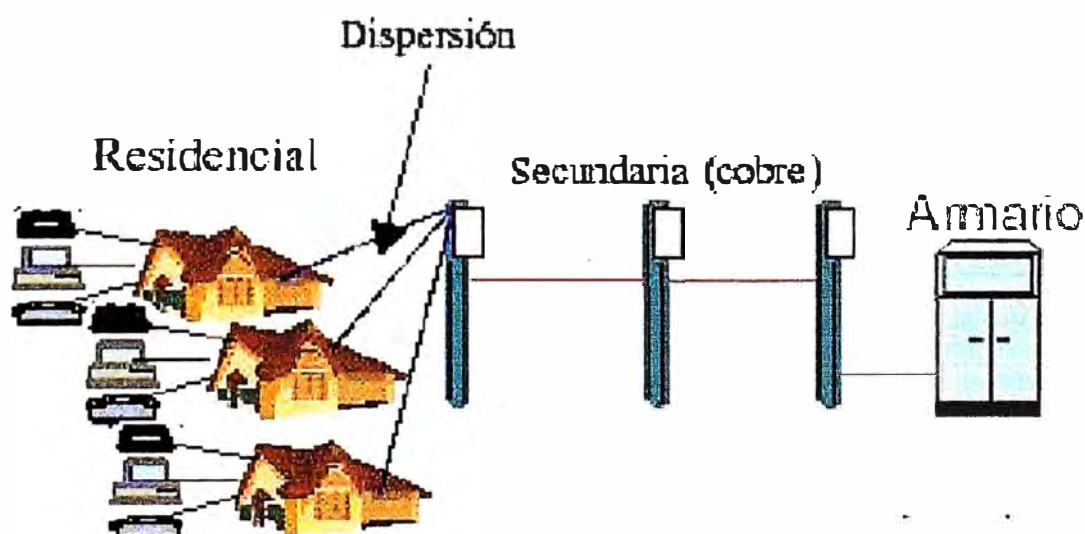


Fig.4.6: Red de Dispersión

- En cruces y paralelismo con cables de energía, se guardarán las distancias que se indican en la Tabla 4.2
- De no cumplirse la separación indicada, para tensiones menores a 750 V se protegerá el cable de acometida con un protector polimérico de 1 m, instalado simétricamente en el punto de cruce.
- El punto de conexión a la red (block de conexión) en la propiedad del abonado, contará con protectores para sobretensión.
- Vincular el punto de conexión a la red, al sistema de aterramiento de la propiedad del cliente.
- Si el cliente no dispone de sistema de aterramiento, se instalará el protector al block de conexión y su continuidad en la tierra de la caja terminal.

CONCLUSIONES

1. La presencia de armónicos en las redes causa una serie de problemas de deterioro de la calidad de la onda de tensión, hace necesario un sobredimensionamiento de las instalaciones de transporte y ocasiona pérdidas adicionales significativas. Aunque existen normas que limitan el consumo de dichos armónicos, hoy por hoy existen muchas instalaciones cuyos consumos en corrientes armónicas están muy por encima de los límites aceptados. Esto tiene un coste significativo para las compañías distribuidoras, hasta el punto de que en muchos países se está considerando la creación de un recargo sobre la tarifa de consumo, para compensar económicamente a las compañías por la infraestructura adicional de transporte y por las pérdidas.
2. No obstante, la solución del problema no debería ser el resignarse a pagar un cargo, sino que debería evitarse este consumo adicional, con sus correspondientes pérdidas y la necesidad de ampliación de las redes de distribución. La alternativa son los filtros de armónicos, que reducen las ondulaciones de la corriente a límites tolerables, para los cuales los efectos de dichos armónicos no sean significativos. Como siempre la solución es un compromiso entre la eliminación de ondulación de la corriente y el costo del filtro. La eliminación total es muy costosa, pero la reducción hasta alcanzar los límites de compatibilidad es perfectamente justificable económicamente.
3. Si en la medición de ruido se detectan valores mayores a -70 dB, se debe a que existe algún tipo de inducción que lo provoca, el ruido inducido es favorecido por el desequilibrio de los pares telefónicos respecto a tierra, este último puede, a su vez, ser producto de un bajo aislamiento o de un contacto entre un conductor del par y la pantalla del cable. Para subsanar esta situación hay que regenerar el aislamiento de los pares.
4. El desequilibrio capacitivo se debe principalmente a una disminución de la resistencia de aislamiento entre los conductores, y entre los conductores y tierra. Este tipo de desequilibrio es predominante en la asimetría de los pares telefónicos, lo cual favorece

la aparición de tensiones transversales (ruido). Uno de los principales agentes que produce la disminución en el aislamiento, es la presencia de humedad en los cables, blocks de conexión de armarios de distribución, puntos de empalmes y cajas terminales, ya que se ven afectadas las características dieléctricas de los elementos. Para mejorar el desequilibrio de capacidad y el bajo valor de la resistencia de aislamiento, es necesario disminuir la presencia de humedad al interior de los cables, lo cual se puede lograr por medio de la inyección de aire seco al núcleo de los mismos.

5. La problemática generada por el incremento de la distorsión armónica ha disminuido la calidad de la energía, la cual se considera puede seguir disminuyendo ya que la utilización de equipo electrónico más eficiente y rápido es cada día más frecuente y lo será debido a su mayor eficiencia y bajo costo.
6. La presencia de una pantalla metálica en el cable telefónico añade una buena protección contra el acoplamiento capacitivo; para ello basta con asegurar la continuidad eléctrica de dicha pantalla con toda la longitud del trayecto del cable y su conexión a tierra en un punto por lo menos. Si la continuidad de la pantalla se perdió en uno o más puntos, ya sea por: rompimiento, aumento de la resistencia de contacto en los puntos de unión o la continuidad nunca se realizó, el apantallamiento que puede brindar a los conductores del núcleo se reduce en forma importante, ya que en la práctica sólo queda apantallado el tramo de cable comprendido entre la toma de tierra de la pantalla en la central y el punto de discontinuidad. Este problema sólo se puede solucionar estableciendo la continuidad, en los puntos donde se haya perdido.
7. Para obtener un buen apantallamiento contra los efectos del acoplamiento capacitivo, no basta con que el cable posea una pantalla metálica, sino que es fundamental que ésta este puesta a tierra por lo menos en un punto. Por esta razón, se recomienda realizar una única toma de tierra en la oficina central cuyo valor resistivo no sea superior a 5 ohmios, es conveniente comprobar periódicamente la calidad de esta toma de tierra, la cual puede variar con un gran número de factores, primordialmente los climáticos, los cuales provocan grandes variaciones en la humedad del terreno, y por consiguiente en la resistividad de éste, por lo general una vez cada dos años.

RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de eliminar los riesgos eléctricos como consecuencia de la proximidad entre redes eléctricas y telefónicas, se han establecidos acuerdos entre la compañía suministradora de electricidad y la operadora de telecomunicaciones, suscribiendo convenio para la supresión de tales peligros.
2. En los trabajos sobre el cable telefónico, el operario debe tener siempre muy presente que, en cualquier punto y en cualquier momento, pueden aparecer accidentalmente diferencias de potencial entre la pantalla del cable (conectada a la tierra de la central) y el mensajero (referido a otra diferente de la tierra de la central), o entre cualquiera de ellos y la tierra local del operario, para ello es fundamental utilizar los equipos de seguridad. Muchos de los accidentes ocurren por exceso de confianza, por muy capaz y experimentado que sea el trabajador no arriesgue su integridad al no utilizar un equipo de protección necesario: casco, anteojos, guantes protectores, cinturón de seguridad, y zapatos especiales.
3. Se recomienda evitar la instalación de un sistema de puesta a tierra de una red telefónica en aquellos puntos próximos pertenecientes a la red de energía eléctrica como son: subestaciones eléctricas, centros de generación eléctrica, torres de alta tensión etc. En tal sentido se debe dejar una cierta distancia entre ambos sistemas de puesta a tierra , que es función de la resistividad del terreno, la corriente máxima de falla del sistema eléctrico , se procura que no sea inferior a 100 m.
4. Es necesario instruir al personal dedicado a la realización de las mediciones, con el objeto de efectuar un análisis correcto de los datos obtenidos del terreno. En ese sentido se deberá tomar en cuenta algunos factores tales como: longitud de los pares, cambios de calibre, longitud de los tramos de distinto calibre, y antigüedad de los cables.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual práctico de electricidad para ingenieros, escrito por Donald G. Fink, H. Wayne Beaty, John M. Carroll , Publicado por Reverte, - España -1984
2. Armónicos en Sistema de Potencia, J. Arrillaga y L.I.Eguiluz, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria – España, 1994.
3. Sistemas Eléctricos de Gran Potencia, B.M.Weedy.
4. IEEE Std 519-1992- Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.
5. Norma Técnica Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE).
6. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, “Power Line Harmonic Effects on Communication Line Interference”, Vol. PAS-104, Nº 9, September 1985
7. Perturbaciones de Tensión Norma EN 50160 , CEDIC (Centro Español de Información del Cobre) - Julio 2,004
<http://www.leonardo-energy.org>
8. Perturbaciones en la Red Eléctrica, Victor Sanchez Huerta , División de Ciencias e Ingenierías , Universidad de Quintana Roo - México
<http://www.afinidadelectrica.com>