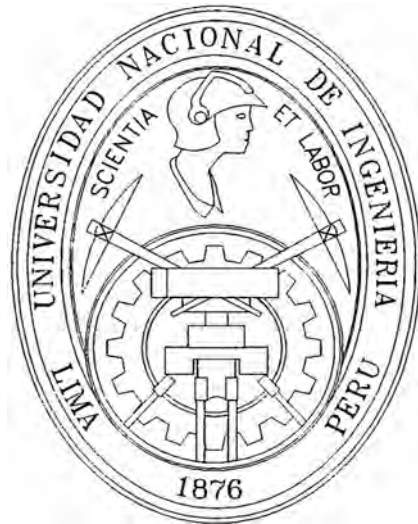


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**“MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE
ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN”**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

ALFREDO CÁRDENAS HUAMÁN

PROMOCIÓN 1995-II

LIMA – PERU

2003

A mis padres, Mariano y Josefa,
quienes con su esfuerzo me dieron
un futuro.

**MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE
ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN**

SUMARIO

El presente informe de suficiencia “Modelamiento y Simulación de Armónicos en los Sistemas de Distribución” tiene por finalidad destacar los modelos desarrollados para la representación de los componentes típicos de una red eléctrica y las técnicas de simulación desarrolladas para el estudio de armónicos en sistema de distribución.

Los modelos presentados están orientados a representar las características predominantes de un sistema de distribución los cuales son muy distintos comparativamente con los sistemas de transmisión.

El contenido del presente informe incluye un análisis práctico de la aplicación del modelamiento y simulación de armónicos con la ayuda de la herramienta computacional WinHarmo versión 3.0.

Al estar vigente la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, las empresas concesionarias de distribución están impulsadas a realizar estudios de armónicos para cuantificar los niveles de distorsión armónica existentes en sus redes a fin de asegurar el funcionamiento apropiado de los equipos sensibles de los usuarios finales y prevenir posibles daños en equipos propios, además de evitar las penalidades económicas que contempla la norma técnica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	2
1.1 Los armónicos en los Sistemas de Distribución	2
1.2 La importancia de los estudios de armónicos	3
1.3 Casos típicos para el estudio de armónicos	4
CAPÍTULO II	
NORMATIVIDAD PARA EL CONTROL DE ARMÓNICOS	5
2.1 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos	5
2.1.1 Indicadores de calidad para tensiones armónicas	6
2.1.2 Tolerancias para tensiones armónicas	7
2.1.3 Compensaciones por tensiones armónicas	7
2.2 Normatividad en países de Latinoamérica	8
CAPÍTULO III	
MODELAMIENTO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	10
3.1 Barra de generación	11
3.2 Redes eléctricas	12
3.3 Transformadores de distribución	13
3.3.1 Modelo A	14

3.3.2	Modelo B	15
3.3.3	Modelo C	15
3.4	Banco de condensadores	17
3.5	Cargas	17
3.5.1	Máquinas rotativas	18
3.5.2	Modelo general para la carga	21
3.5.3	Otros modelos prácticos para la carga	22
3.6	Equipos de electrónica de potencia	23
CAPÍTULO IV		
MÉTODOS DE SIMULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE ARMÓNICOS		27
4.1	Análisis en el dominio del tiempo	27
4.2	Análisis no lineal en el dominio de la frecuencia	28
4.3	Análisis lineal en el dominio de la frecuencia	29
CAPÍTULO V		
APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE ARMÓNICOS		32
5.1	Sistema de Distribución en análisis	32
5.2	Hipótesis para el modelamiento de componentes	36
5.3	Modelamiento de componentes	37
5.4	Resultados del software WinHarmo versión 3.0	45
5.4.1	Sin carga perturbadora	46
5.4.2	Carga perturbadora sin banco de condensadores	95
5.4.3	Carga perturbadora con banco de condensadores	149
5.5	Comentarios	203

CONCLUSIONES	207
ANEXO	209
A.1 Límites para tensiones armónicas en PERU	210
A.2 Límites para tensiones armónicas en ARGENTINA	211
A.3 Límites para tensiones armónicas en CHILE	212
A.4 Límites para tensiones armónicas según la norma IEC 1000-3-6	213
A.5 Límites para armónicos según la IEEE Std 512-1992	214
A.6 Parámetros eléctricos de cables subterráneos de MT – 10 kV	215
A.7 Capacidad de corriente de cables subterráneos de MT – 10 kV	216
A.8 Parámetros eléctricos de conductores aéreos de MT – 10 kV	217
A.9 Capacidad de corriente de conductores aéreos de MT – 10 kV	218
A.10 Parámetros eléctricos de cables subterráneos de MT – 22,9 kV	219
A.11 Capacidad de corriente de cables subterráneos de MT – 22,9 kV	220
A.12 Parámetros eléctricos de conductores aéreos de MT – 22,9 kV	221
A.13 Capacidad de corriente de conductores aéreos de MT – 22,9 kV	222
BIBLIOGRAFÍA	223

INTRODUCCIÓN

La calidad del servicio eléctrico ha adquirido interés en el mercado eléctrico peruano, debido a los cambios experimentados con la privatización de las empresas eléctricas y a la promulgación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, el cual establece estándares mínimos de calidad para el servicio eléctrico y cuya transgresión es penalizado en forma económica. Esto impulsa a las empresas eléctricas a cuantificar la presencia de armónicos en sus redes eléctricas, a fin de tomar las acciones correctivas necesarias.

Uno de los métodos más comunes para investigar los problemas de armónicos es la simulación, cuyo éxito depende del algoritmo utilizado y del modelamiento de los componentes del sistema de distribución. De estos factores, tiene mayor incidencia en los resultados el modelamiento de las redes eléctricas y las cargas de los usuarios.

La literatura actual proporciona modelos orientados a sistemas de transmisión, cuya aplicación en sistemas de distribución no dan buenos resultados y muchas veces difícilmente se obtiene convergencia. Por esta razón, las empresas concesionarias de distribución buscan métodos de análisis simplificados.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 Los armónicos en los Sistemas de Distribución

Un sistema de distribución ideal debe proporcionar niveles de tensión que cumplan las siguientes características:

- Amplitud constante.
- Forma de onda sinusoidal.
- Frecuencia constante.

Bajo estas condiciones, los equipos eléctricos conectados al sistema de distribución deben funcionar de acuerdo a su diseño sin presentar comportamientos anormales.

Sin embargo, un sistema de distribución real presenta una serie de perturbaciones que alteran la calidad del servicio, entre las cuales destacan:

- Variaciones de frecuencia.
- Variaciones de la amplitud de la tensión.
- Sobre tensiones.
- Deformaciones en la onda de tensión y de corriente.

Las distorsiones de la onda de tensión y corriente, se deben a la superposición de ondas sinusoidales de distinta frecuencia, llamados armónicos, los cuales tienen su origen en la presencia de cargas no lineales en el sistema de distribución.

Los armónicos se definen como componentes sinusoidales de una onda periódica, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental a la cual opera el sistema de distribución (50 ó 60 Hz).

1.2 La importancia de los estudios de armónicos

Desde el punto de vista técnico, la presencia de armónicos tienen efectos negativos las cuales se pueden resumir en el aumento de pérdidas en redes y equipos eléctricos, la disminución de la vida útil de los equipos eléctricos, y la pérdida de la calidad y de la confiabilidad del sistema de distribución.

Desde el punto de vista no técnico, las empresas concesionarias de distribución están impulsadas a implementar medidas administrativas, comerciales y legales a fin de controlar las perturbaciones armónicas que puedan introducir en la red eléctrica sus clientes u otros, evitando de esta manera pérdidas económicas por interrupciones del servicio, así como también, por las penalidades que establecen las normas de calidad para el servicio eléctrico.

Bajo ese contexto, dependiendo del objetivo del estudio de la problemática de armónicos, se planteará un procedimiento específico. Los objetivos más comunes que persigue un estudio de armónicos son:

- Evaluar el grado de contaminación armónico existente en la red.
- Evaluar el impacto de una carga generadora de armónicos.
- Investigar los problemas de quema de fusibles en bancos de condensadores y filtros ubicados en sistemas contaminados.

Determinar el impacto y la ubicación óptima de bancos de condensadores o filtros para compensación de potencia reactiva en redes eléctricas con cargas contaminadoras.

Diseñar filtros para el control y atenuación de armónicos.

1.3 Casos típicos para el estudio de armónicos

Los estudios de armónicos son costosos y solamente se deben realizar en casos justificados tales como:

En redes eléctricas débiles con potencia de cortocircuito bajo y con la presencia de cargas no lineales que inyectan armónicas.

Cuando la potencia de la carga contaminante es importante con respecto a la potencia instalada de la planta.

Cuando se tiene indicios operacionales inquietantes como la quema de cables, fusibles, filtros y bancos de condensadores sin una causa aparente.

Cuando se sospecha que un cliente esta inyectando armónicos al sistema de distribución o viceversa.

CAPÍTULO II NORMATIVIDAD PARA EL CONTROL DE ARMÓNICOS

Las normas de calidad para el servicio eléctrico buscan garantizar a los usuarios, un nivel de calidad aceptable para el servicio que brindan las empresas concesionarias del mercado eléctrico y así asegurarles el funcionamiento apropiado y continuo de sus equipos sensibles y procesos.

En el caso de las perturbaciones del tipo armónico, las normas obedecen a la necesidad de:

Limitar el nivel de distorsión armónica existente en la red eléctrica para que los equipos conectados a ella puedan operar en forma satisfactoria sin ser dañados.

Limitar el nivel de distorsión armónica que cada usuario pueda introducir a la red eléctrica sin afectar a otros usuarios.

Garantizar a cada usuario una tensión con una forma de onda adecuada a sus necesidades.

Todas las normas de calidad consideran límites para la distorsión armónica total de tensión y para las armónicas individuales de tensión.

2.1 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

En el año 1997, entró en vigencia en el Perú, la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), con el objetivo de establecer

niveles mínimos de calidad para los servicios eléctricos, incluido el alumbrado público, y determinar las obligaciones de las empresas eléctricas y los usuarios finales que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas.

El control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en varios aspectos, entre los cuales se contempla la calidad de la onda de tensión en el punto de alimentación de acuerdo a los siguientes parámetros: tensión (magnitud), frecuencia y perturbaciones (flícker y tensiones armónicas).

2.1.1 Indicadores de calidad para tensiones armónicas

La NTCSE contempla los siguientes indicadores de calidad:

Tensiones armónicas individuales (V_i):

$$V_i(\%) = \left(\frac{V_i}{V_N} \right) * 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

- Factor de distorsión total de armónicas (THD):

$$THD(\%) = \left(\sqrt{\sum_{i=2}^{40} \left(\frac{V_i}{V_N} \right)^2} \right) * 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

donde,

V_i : Valor eficaz de la tensión armónica “i” expresada en Voltios.

V_N : Tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

i : Orden de la tensión armónica. Varía de $i=2$ hasta $i=40$.

Estos indicadores se evalúan separadamente para cada intervalo de medición de diez (10) minutos durante el periodo de medición, que como mínimo será de siete (7) días calendarios continuos.

2.1.2 Tolerancias para tensiones armónicas

Para las redes eléctricas de media y baja tensión, la NTCSE establece tolerancias hasta un límite del 8% para los indicadores de calidad de las tensiones armónicas. En el caso de las redes eléctricas de muy alta y alta tensión, dicho límite se establece hasta un 3%. En el anexo A.1 se muestra el detalle de las tolerancias establecidas en la NTCSE.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores medidos se encuentran fuera del rango de los niveles permitidos, por un tiempo superior al 5% del periodo de medición.

2.1.3 Compensaciones por tensiones armónicas

La NTCSE establece que el incumplimiento de los estándares fijados para las tensiones armónicas esta sujeto a compensación de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Compensación} = \sum_s d * D_s * E(s) \dots\dots\dots (2.3)$$

donde,

s : Intervalo de medición en el que se violan las tolerancias armónicas.

d : Compensación unitaria por armónicas.

- Primera etapa: d = 0,00 US\$/kWh

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

- Tercera etapa: d = 1,10 US\$/kWh.

D_s : Factor de proporcionalidad definido en función de la magnitud de la distorsión penalizable por armónicas $DPA(s)$ calculado para el intervalo de medición "s" como:

$$DPA(s) = \left(\frac{THD(s) - THD'}{THD'} \right) + \frac{1}{3} \sum_{i=2}^{40} \left(\frac{V_i - V_i'}{V_i'} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

donde sólo se consideran los términos positivos de la expresión.

$$D_s = \begin{cases} 1 & DPA(s) \geq 1 \\ DPA(s) * DPA(s) & DPA(s) < 1 \end{cases} \dots\dots\dots (2.5)$$

E(s) : Energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición "s".

En el año 1999 entro en vigencia la segunda etapa de la aplicación de la NTCSE, y en el caso del control de perturbaciones, se suspendió la aplicación de penalidades por emisión de armónicos hasta que el Ministerio de Energía y Minas conforme una comisión para el análisis integral de las perturbaciones y su eficaz aplicación en el mercado eléctrico peruano con la participación de las empresas eléctricas y los grandes clientes.

2.2 Normatividad en países de Latinoamérica

La calidad del servicio eléctrico es un tema que está siendo contemplado en las normas de calidad de diversos países de Latinoamérica, muchos de los cuales se encuentran en proceso de adaptación de acuerdo a la realidad de cada mercado eléctrico. En la tabla N° 2.1 se muestra en resumen de los límites establecidos en algunos países para el THD.

El incumplimiento de los límites fijados para la distorsión armónica de tensión esta sujeto a penalidades, los cuales no se aplican a fin de analizar las tolerancias permisibles con los resultados de una campaña de medición, como paso previo para su aplicación imperativa.

Un caso de excepción corresponde a Argentina, cuya reglamentación referente al control de armónicos esta vigente desde el año 1992, siendo en la actualidad el único país donde se aplican penalidades en forma efectiva. En la tabla N° 2.2 se muestran las sanciones definitivas por los resultados del control del nivel de armónicos en el área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires.

Límites para la distorsión armónica total de tensión

País / Estándar	THD (%) Alta Tensión	THD (%) Media y Baja Tensión
Argentina	3,0	8,0
Chile	3,0	8,0
Perú	3,0	8,0
IEC 1000-3-6	3,0	8,0
IEEE Std 512-1992	3,0	5,0

Tabla N° 2.1

Sanciones aplicadas en el control de armónicos en Argentina
(montos en dólares americanos)

Semestre	EDELAP SA	EDENOR SA	EDESUR SA
2	8 049,10	179,13	170 492,25
3	7 925,80	660,66	1 858,71
4	8 013,38	28 763,81	50 584,01
5	7 925,80	6 140,40	159 367,03
Total	31 914,08	35 744,00	382 302,00

Tabla N° 2.2

CAPÍTULO III

MODELAMIENTO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución presentan características muy particulares que lo diferencian de los sistemas de transmisión, entre las que destacan: topologías radiales, conexiones monofásicas y trifásicas, cargas de distinta naturaleza (residenciales, comerciales e industriales), redes con resistencia comparable a la reactancia y sin presentar transposiciones.

Para modelar el comportamiento de los elementos típicos de un sistema de distribución, es necesario obtener un compromiso entre la precisión (complejidad de los modelos) con la rapidez y el tamaño de la información.

Bajo estas consideraciones, se presentan modelos simples y realistas que representen las características dominantes de cada elemento ante una perturbación armónica.

Los modelos se pueden expresar en el dominio del tiempo cuando se desea estudiar el régimen transitorio, ó en el dominio de la frecuencia cuando es de interés el estudio del régimen permanente, siendo este último caso muy difundido en la literatura actual e implementada en los algoritmos de diversas herramientas computacionales.

A continuación se detallan los modelos de componentes típicos de un sistema de distribución expresados en el dominio de la frecuencia.

3.1 Barra de generación

Se modela como una barra infinita con la impedancia de cortocircuito de la barra de generación para la componente fundamental. Se considera que la concesionaria no inyecta tensiones armónicas, la componente resistiva de la impedancia es constante y la reactancia es proporcional a la frecuencia. La impedancia armónica será modelada de acuerdo a la secuencia de los armónicos presentes en la red.

Las ecuaciones que representan a la barra de generación son las siguientes:

$$E(h) = \begin{cases} E & h = 1 \\ 0 & h > 1 \end{cases} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Z_g(h) = R + j\omega L * h \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\omega = 2 * \pi * f_0 \dots\dots\dots (3.3)$$

siendo,

$E(h)$: Tensión de la barra de generación para el orden de armónico "h".

$Z_g(h)$: Impedancia de la barra de generación para el orden de armónico "h".

f_0 : Frecuencia fundamental.

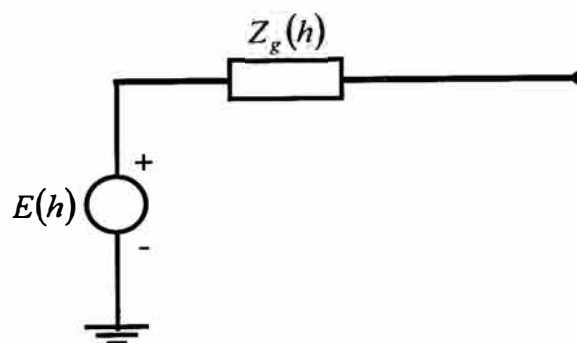


Figura 3.1 Modelo general de la barra de generación.

3.2 Redes eléctricas

Las redes eléctricas son caracterizadas por circuitos Π equivalentes basado en los datos de sus parámetros eléctricos.

La impedancia y la admitancia armónica de la red eléctrica se expresa de la siguiente manera:

$$Z(h) = R + j\omega L * h \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Y(h) = G + j\omega C * h \dots\dots\dots (3.5)$$

siendo,

$Z(h)$: Impedancia longitudinal de la red para el orden de armónico "h".

$Y(h)$: Admitancia transversal de la red para el orden de armónico "h".

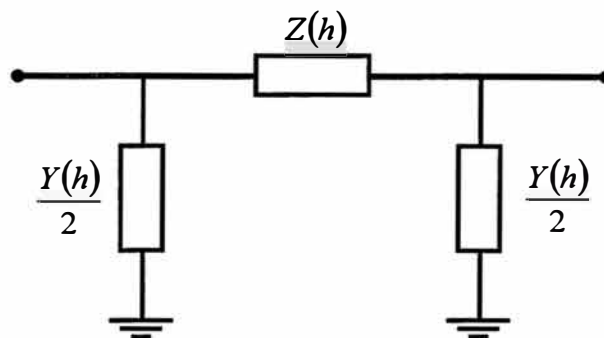


Figura 3.2 Modelo monofásico de la red eléctrica.

La resistencia R es dependiente de la frecuencia debido al efecto superficial del conductor conocido también como efecto *skin*, y al efecto de proximidad en el caso de cables. En el caso de la inductancia L , la dependencia de la frecuencia se debe al efecto de retorno por tierra.

La experiencia demuestra que la dependencia de la frecuencia puede ignorarse para muchos problemas comunes de evaluación de armónicos.

Para considerar el efecto *skin* se recomienda utilizar los siguientes factores de corrección:

Para líneas aéreas:

$$R = R_0 * \left(1 + \frac{0.646h^2}{192 + 0.518h^2} \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

Para cables subterráneos:

$$R = R_0 * (0.187 + 0.532h^{1/2}) \dots\dots\dots (3.7)$$

siendo,

R_0 : Resistencia de la red eléctrica sin considerar el efecto *skin*.

Se debe incluir la admitancia transversal de la red a fin de considerar el efecto de la longitud, debido a que los armónicos son fenómenos de alta frecuencia. La admitancia aunque pequeña a la frecuencia fundamental, puede llegar a ser bastante significativa a altas frecuencias.

Se recomienda que para tensiones superiores a 10 kV, no debe ignorarse la admitancia transversal para cables con longitudes de más de 200 metros y para líneas con longitudes de más de 1000 metros.

3.3 Transformadores de distribución

El modelo del transformador no contempla la capacitancia existente entre los bobinados, debido a que en la práctica, los armónicos presentes en la red eléctrica tienen valores de hasta 3 kHz, mientras que el efecto de la capacitancia es significativo a frecuencias superiores a 10 kHz.

La rama magnetizante de un transformador es una fuente de armónicos debido a la característica no lineal entre la tensión y la corriente,

conocida comúnmente como saturación. La inclusión de la característica de saturación es importante solo cuando los armónicos generados por el transformador son de gran interés.

Los modelos desarrollados para transformadores de distribución, sin considerar el efecto de la capacitancia y de la rama magnetizante, son:

3.3.1 Modelo A

En base a la impedancia equivalente de cortocircuito, se construye una impedancia armónica compuesta de una resistencia en serie con una inductancia. Se considera a la componente inductiva como proporcional a la frecuencia. Para la componente resistiva, J. Arrillaga recomienda utilizar un factor de corrección de \sqrt{h} .

La impedancia armónica del transformador para el modelo A tiene la siguiente expresión:

$$Z_{tr}(h) = R * \sqrt{h} + j\omega L * h \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

siendo,

$Z_{tr}(h)$: Impedancia del transformador para el orden de armónico "h".

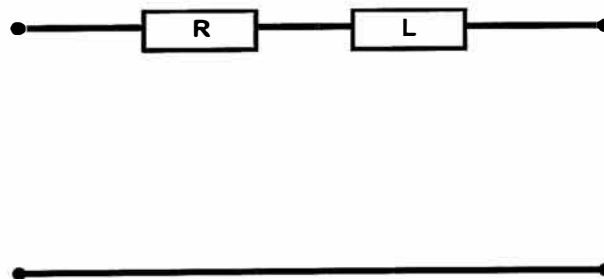


Figura 3.3 Modelo A para el transformador.

3.3.2 Modelo B

El modelo se basa en el modelo A, al cual se le agrega una resistencia en paralelo con la inductancia. El valor de la resistencia en paralelo es calculado por un factor multiplicador de la reactancia inductiva. Se sugiere utilizar un factor de 80.

La impedancia armónica del transformador para el modelo B tiene la siguiente expresión:

$$Z_{tr}(h) = R_s + \frac{R_p * (\omega L)^2 * h^2}{R_p^2 + (\omega L)^2 * h^2} + j \frac{R_p^2 * (\omega L) * h}{R_p^2 + (\omega L)^2 * h^2}; \quad h > 1 \quad \dots (3.9)$$

$$R_p \approx 80(\omega L) \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

donde,

R_s : Resistencia de la impedancia de cortocircuito del transformador.

R_p : Resistencia en paralelo con la inductancia del transformador.

L : Inductancia de la impedancia de cortocircuito del transformador.

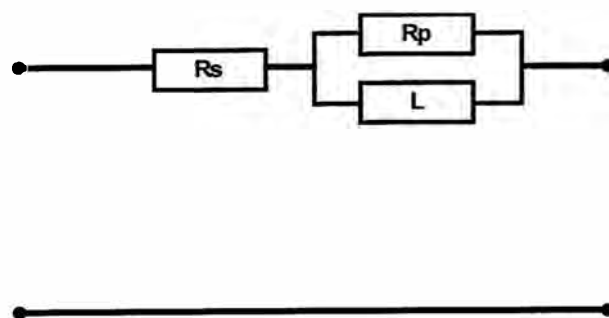


Figura 3.4 Modelo B y C para el transformador.

3.3.3 Modelo C

Este modelo se representa en forma similar al modelo B. De acuerdo a M. A. Personen, las resistencias en serie y en paralelo, son estimadas de:

$$90 < \frac{V^2}{S * R_s} < 110 \dots\dots\dots (3.11)$$

$$13 < \frac{S * R_p}{V^2} < 30 \dots\dots\dots (3.12)$$

donde,

S : Potencia nominal del transformador.

Para obtener mayor precisión en los resultados de la simulación, se recomienda que los modelos de los transformadores contemplen el desfase de $\pm 30^\circ$ en las tensiones y corrientes armónicas, dependiendo del orden del armónico, la secuencia y la conexión del devanado.

El desfase tiene como efecto importante la cancelación de armónicas significantes en el sistema de distribución solo cuando se tienen múltiples fuentes de armónicos.

Para el análisis del sistema con representación trifásica, los modelos implementados en diversos programas aplicativos incluyen automáticamente el efecto del desfase.

Para el análisis del sistema con representación monofásica, a fin de representar el efecto del desfase se recomienda utilizar un modelo desfasador con relación de transformación de la forma $1: Ae^{j\theta\alpha}$. Los valores que toma α son:

$\alpha = 1$ para armónicos de secuencia positiva ($h = 1, 4, 7, 10, \dots$).

$\alpha = -1$ para armónicos de secuencia negativa ($h = 2, 5, 8, 11, \dots$).

$\alpha = 0$ para armónicos de secuencia cero ($h = 3, 6, 9, 12, \dots$).

3.4 Banco de condensadores

El condensador se modela como un elemento ideal representado por su admitancia correspondiente:

$$Y_c(h) = j\omega C * h \dots\dots\dots (3.13)$$

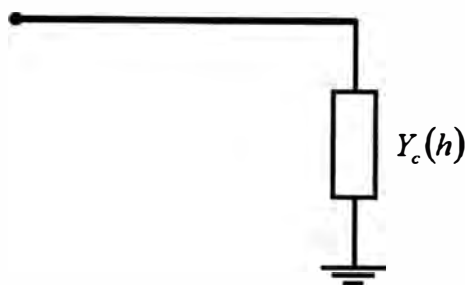


Figura 3.5 Modelo del condensador.

3.5 Cargas

Las cargas de los usuarios finales representan un rol importante en la característica de las redes eléctricas frente a los armónicos. Constituyen el elemento principal de la componente de amortiguamiento y también afectan las condiciones de resonancia, particularmente en altas frecuencias.

En general, las empresas concesionarias de distribución no cuentan con información al detalle de todas las cargas de sus usuarios y su variación en el tiempo, el cual depende mayormente del consumo de equipos de electrónicos como consecuencia del gran desarrollo tecnológico experimentado en las últimas décadas.

En la práctica, las cargas de los usuarios son modeladas como cargas concentradas cuya característica sea la más representativa posible, de acuerdo a criterios como el uso que se da al servicio eléctrico, estudios realizados sobre estratificación de cargas, mediciones de campo,

experiencia de los analistas, entre otros. En la tabla N° 3.1 se muestra la composición típica del consumo de un usuario, el cual comprende básicamente de cuatro tipos de cargas: resistivas, inductivas, capacitivas y no lineales.

Las cargas son generalmente expresadas por su potencia activa P y su potencia reactiva Q , los cuales son utilizados para determinar la impedancia equivalente para estudios de flujo de carga a la frecuencia fundamental. Sin embargo, a la frecuencia armónica, P y Q no se pueden utilizar directamente porque la impedancia equivalente no es representativa, debido a que la potencia activa absorbida por las máquinas rotativas no corresponde a un valor amortiguado siendo necesaria información adicional. En cambio, la potencia reactiva estimada tiene un efecto despreciable en algunos casos.

Por lo tanto, la representación de los motores de inducción se realiza estimando las unidades en servicio, la potencia nominal instalada y su inductancia de rotor bloqueado.

Otro aspecto a considerar es la presencia de carga de naturaleza electrónica, el cual al ser generadora de armónicos, se representa como una fuente armónica a las frecuencias de importancia.

3.5.1 Máquinas rotativas

Las máquinas síncronas son modeladas por su impedancia de secuencia negativa o el promedio de las impedancias subtransitorias del eje directo y en cuadratura, dependiendo de la disponibilidad de información.

Composición típica del consumo de un usuario

Naturaleza	Tipo de carga	Características eléctricas
Doméstica	Lámparas incandescentes Lámparas fluorescentes Lámparas ahorradoras Pequeños motores Computadoras Electrodomésticos	Resistiva No lineal No lineal Inductiva No lineal No lineal
Comercial	Lámparas incandescentes Lámparas fluorescentes Lámparas ahorradoras Aire acondicionado Calefacción Refrigeración Lavadoras Motores pequeños y medianos Computadoras Otras cargas electrónicas	Resistiva No lineal No lineal Inductiva Resistiva Inductiva Inductiva No lineal No lineal No lineal
Industrial	Ventiladores Bombas Compresores Banco de condensadores Calefacción Hornos de arco Motores medianos y grandes Otras cargas electrónicas	Inductiva Inductiva Inductiva Capacitiva Resistiva No lineal No lineal No lineal

Tabla N° 3.1

En el caso de máquinas de inducción, estas son modeladas por su impedancia de rotor bloqueado debido a que el deslizamiento es cercano a la unidad.

Para ambas máquinas, la resistencia es dependiente de la frecuencia debido a los efectos superficiales del conductor y a las pérdidas por corrientes parásitas. La resistencia normalmente se incrementa con la frecuencia con el factor de h^α , donde "h" es el orden del armónico y α toma valores en el rango de 0,5 a 1,5.

La impedancia armónica representativa de las máquinas rotativas tiene la forma:

$$Z_{maq}(h) = R * h^\alpha + j\omega L * h \dots\dots\dots (3.14)$$

siendo,

$Z_{maq}(h)$: Impedancia de la máquina rotativa.

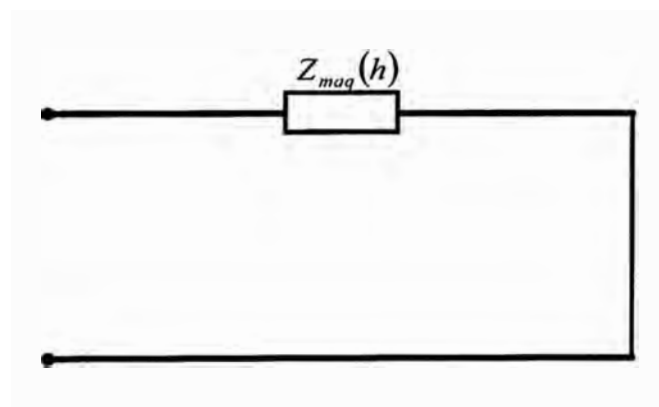


Figura 3.6 Modelo de la máquina rotativa.

Los motores no proporcionan un camino a las corrientes armónicas de secuencia cero.

3.5.2 Modelo general para la carga

En la figura N° 3.7 se representa el modelo general de la carga, cuyos parámetros son estimados de las siguientes expresiones:

$$R_2(h) = R_2 * \sqrt{h} = \frac{V^2}{P * (1 - K - KE)} * \sqrt{h} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$L_1 = X_M * \frac{V^2}{K_m * K * P * \omega} \dots\dots\dots (3.16)$$

$$R_3 = \frac{\omega L_1}{K_2} \dots\dots\dots (3.17)$$

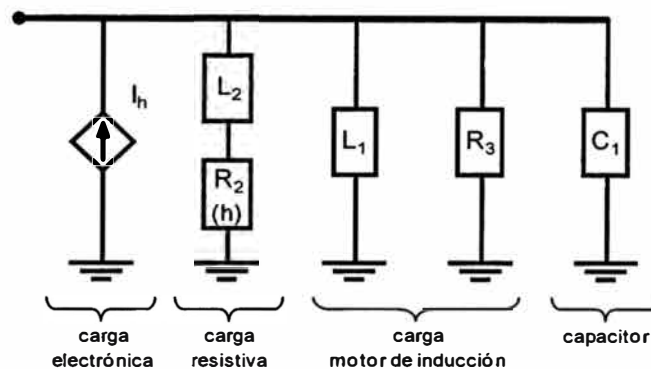


Figura 3.7 Modelo general de la carga.

donde,

P : Potencia activa total.

K : Fracción de motores de inducción (0,15 – 0,80). En el caso de cargas industriales, el factor K toma valores alrededor de 0,80, y para cargas comerciales y residenciales, toma valores alrededor de 0,15.

R₂ : Resistencia equivalente que representa la componente resistiva de la carga corregido por el efecto *skin*.

L₁ : Inductancia equivalente que representa los motores de inducción.

- R_3 : Resistencia de amortiguamiento para la representación del motor de inducción.
- K_E : Fracción de cargas electrónicas (0,1 – 0,5).
- X_M : Valor p.u. de la impedancia de rotor bloqueado (0,15 – 0,25 p.u.).
- K_m : Factor de instalación de motores.
- K_2 : Fracción de inductancia del rotor bloqueado ($\sim 0,2$).
- L_2 : Inductancia del transformador en el lado de baja tensión conectado a la carga resistiva ($L_2 \sim 0,1R_2/\omega$).
- C_1 : Capacitor para el factor de corrección de potencia.
- I_h : Fuente ideal de corriente armónica.

3.5.3 Otros modelos prácticos para la carga

En la tabla N° 3.2 se muestra una compilación de modelos prácticos para la carga, los cuales pueden ser usados acorde con las características de la carga y la información disponible.

Los parámetros eléctricos son derivados de la potencia activa y reactiva, P y Q , e información adicional acerca de la composición y característica de la carga.

Con referencia a los modelos 4 y 5 de la tabla N° 3.2, el factor K de los motores de inducción se define como la relación de la demanda del motor de inducción P_M entre la demanda total de la carga P .

Si el factor K es relativamente pequeño, por ejemplo menos de 0,1, la carga se comporta como una impedancia constante. En este caso, los modelos 1, 2 y 3, ofrecen una buena aproximación de la impedancia

armónica de la carga. Los modelos 2 y 3 ofrecen un alto amortiguamiento. Cuando el factor K asume valores relativamente altos, las componentes resistivas e inductivas de la carga son modeladas en forma separada.

El modelo 5 y 6 considera una reactancia serie X_2 para tomar en cuenta al transformador de distribución, cuya inclusión tiende a reducir el amortiguamiento a altas frecuencias.

La reactancia X_1 del modelo 5, ha sido obtenida de datos experimentales en sistemas de media tensión con frecuencias, normalmente, de 175 y 495 Hz.

La reactancia X_1 de los modelos 4 y 5, no brinda una aproximación con precisión para armónicos de orden menores a 5, debido a que ignoran la atenuación armónica. Su uso está limitado cuando la participación de los motores de inducción es moderado ($K < 0,3$).

Para cargas con predominio de motores ($0,7 < K$), el modelo 6 ofrece una representación con más precisión.

3.6 Equipos de electrónica de potencia

Los equipos de electrónica de potencia son fuentes de armónicos, existiendo diversos trabajos de investigación que proponen distintos modelos individualizados para un equipo determinado y varían en complejidad para obtener resultados precisos.

El modelo común y práctico es considerar a los equipos de electrónica de potencia como fuentes de corrientes armónicas que se inyectan a las barras en que están conectadas.

Modelos prácticos para la Carga

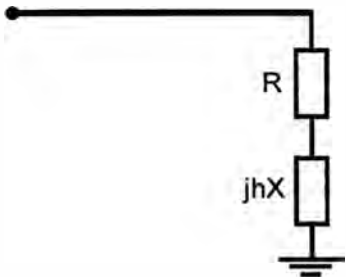
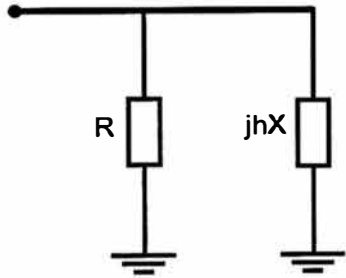
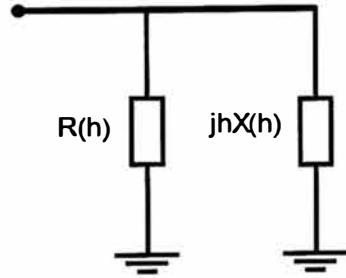
Modelos	Parámetros
<p data-bbox="172 465 427 499">Modelo 1. Serie</p> 	$R = P * \frac{V^2}{P^2 + Q^2}$ $X = Q * \frac{V^2}{P^2 + Q^2}$
<p data-bbox="172 978 480 1012">Modelo 2. Paralelo</p> 	$R = \frac{V^2}{P}$ $X = \frac{V^2}{Q}$
<p data-bbox="172 1478 528 1512">Modelo 3. Efecto skin</p> 	$R(h) = \frac{V^2}{m(h) * P}$ $X(h) = \frac{V^2}{m(h) * Q}$ $m(h) = 0,1 * h + 0,9$

Tabla N° 3.2

Modelos prácticos para la Carga (continuación)

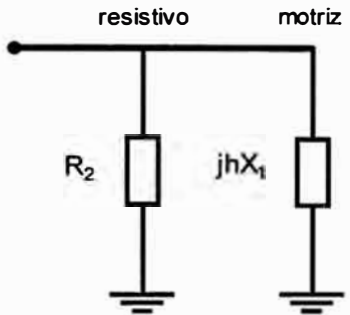
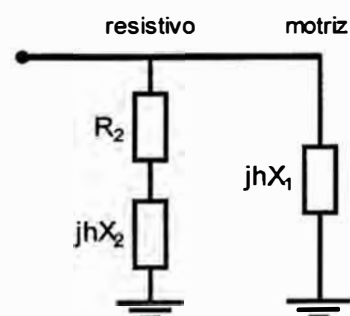
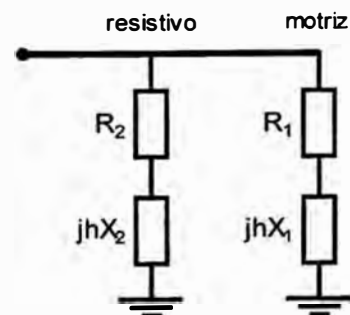
Modelos	Parámetros
<p>Modelo 4. Motores de inducción</p> 	$R_2 = \frac{V^2}{(1-K) * P}$ $X_1 = X_M * \frac{V^2}{K_m * K * Q}$ <p> K_m : factor de instalación ($\approx 1,2$) $K_m = 1 /$ (factor de potencia) X_M : reactancia de rotor bloqueado en p.u. ($\approx 0,15 - 0,25$) K : fracción de la carga del motor </p>
<p>Modelo 5. CIGRE/EDF</p> 	$R_2 = \frac{V^2}{(1-K) * P}$ $X_2 = 0,073 * R_2$ $X_1 = \frac{V^2}{K * P * (6,7 * \text{tag}\phi - 0,74)}$ $\text{tag}\phi = \frac{Q}{P}$
<p>Modelo 6. Inclusión de la carga del transformador y motor amortiguado</p> 	<p> X_1 : se evalúa como el modelo 4. R_2 : se evalúa como el modelo 4. </p> $X_2 = 0,1 * R_2$ $R_1 = \frac{X_1}{K_3}$ <p> K_3 : factor efectivo de calidad del circuito del motor (≈ 8) </p>

Tabla N° 3.2

El procedimiento para establecer el modelo de fuente de corriente es el siguiente:

El dispositivo es tratado como una carga PQ a la frecuencia fundamental, con lo cual se determina el flujo de potencia a frecuencia fundamental.

Se determina la corriente inyectada por el equipo a la red, el cual es denominado como $I_1 \angle \theta_1$.

La magnitud de la corriente armónica representativa del equipo es determinada con la siguiente expresión:

$$I_h = I_1 * \frac{I_{h_espectro}}{I_{1_espectro}} \dots\dots\dots (3.18)$$

El ángulo de fase de la corriente armónica I_h es calculado usando la siguiente expresión:

$$\theta_h = \theta_{h_espectro} + h * (\theta_1 - \theta_{1_espectro}) \dots\dots\dots (3.19)$$

La magnitud $I_{h_espectro}$ y el ángulo de fase $\theta_{h_espectro}$ del espectro típico de la corriente armónica de la carga, pueden ser obtenidas de mediciones, de información proporcionada por los fabricantes o calculado mediante formulas teóricas.

CAPÍTULO IV

MÉTODOS DE SIMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE ARMÓNICOS

Las técnicas de simulación desarrolladas en las décadas pasadas para el estudio de armónicos, difieren entre sí en el requerimiento de datos, la complejidad de los modelos, la formulación del problema y los algoritmos de solución.

Sin embargo, dichos métodos se pueden agrupar en tres grupos:

Análisis en el dominio del tiempo.

Análisis no lineal en el dominio de la frecuencia.

Análisis lineal en el dominio de la frecuencia.

4.1 Análisis en el dominio del tiempo

Este método presenta como características:

El modelamiento de los elementos se realiza en la forma de ecuaciones diferenciales.

Las ecuaciones del elemento pueden contener términos lineales y no lineales.

Es apropiado para el análisis de armónicos en régimen transitorio.

Se tiene buena precisión en los resultados.

Consume muchos recursos computacionales.

4.2 Análisis no lineal en el dominio de la frecuencia

Este método presenta las siguientes características:

Usa modelo lineal para el sistema eléctrico.

Usa modelo no lineal para los elementos contaminantes.

Usa algoritmos iterativos para el cálculo y determina el flujo de potencias de armónicos. La formulación es compleja.

Los resultados son precisos.

La convergencia es limitada.

4.3 Análisis lineal en el dominio de la frecuencia

Este método es el más difundido por su efectividad en el análisis estacionario y presenta las siguientes características:

Usa modelo lineal para el sistema eléctrico.

Usa modelo de inyección de corrientes para los elementos contaminantes.

Tiene buena eficiencia de recursos computacionales y siempre converge.

La precisión es razonable.

El método se basa en la construcción de una matriz de admitancia $[Y]$, que agrupa las admitancias armónicas existentes entre barras en el sistema de distribución de acuerdo a los modelos lineales presentados en el capítulo IV, y la construcción de un vector de corrientes armónicas inyectadas en las barras donde se ubican las cargas contaminantes. Posteriormente, el sistema de ecuaciones es resuelto con el método de Newton Raphson.

La matriz de admitancia que representa el modelo lineal del sistema de distribución a la frecuencia “f” tiene la siguiente forma:

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1k} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2k} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{ik} & \dots & Y_{ni} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{k1} & Y_{k2} & \dots & Y_{ki} & \dots & Y_{kk} & \dots & Y_{nj} \\ \vdots & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nk} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.1)$$

donde,

Y_{ki} : Admitancia conectada entre las barras “k” e “i” a la frecuencia “f”.

Y_{ii} : Admitancia conectada a la barra “i” a la frecuencia “f”.

Para sistemas trifásicos, los elementos Y_{ki} de la matriz de admitancia representan matrices de orden 3x3 cuyos elementos corresponden a las admitancias existentes entre las fases de las barras “k” e “i”.

$$Y_{ki} = \begin{bmatrix} Y_{a_k a_i} & Y_{a_k b_i} & Y_{a_k c_i} \\ Y_{b_k a_i} & Y_{b_k b_i} & Y_{b_k c_i} \\ Y_{c_k a_i} & Y_{c_k b_i} & Y_{c_k c_i} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4.2)$$

En el dominio armónico, las admitancias son representadas como pares complejas conjugadas. Para un orden particular de armónico “± h”, se aplican las siguientes relaciones:

$$Y_{ki}(-h) = Y_{ki}^*(h) \dots\dots\dots (4.3)$$

$$Y_{ii}(-h) = Y_{ii}^*(h) \dots\dots\dots (4.4)$$

El orden de la matriz de admitancia [Y] es igual a:

$$\text{Orden} = N^\circ \text{ de fases} * (2 * N^\circ \text{ de armónicos} + \text{término DC}) \dots (4.5)$$

El vector de corrientes armónicas $[I]$ es construido con los datos conocidos de la carga o los datos proporcionados por los fabricantes.

Los ángulos de las corrientes armónicas pueden ser importantes para estudios de sistemas frágiles con múltiples fuentes armónicas y para determinar con precisión la distorsión de la onda de tensión. En el caso de estudios de sistemas robustos con una fuente armónica, los ángulos de las corrientes armónicas no tienen relevancia. Sin embargo, los efectos son más perceptibles a altas frecuencias.

Las tensiones armónicas $[V]$ de cada barra son evaluadas de la solución directa del sistema de ecuaciones lineales de la forma:

$$[I] = [Y] * [V] \dots\dots\dots (4.6)$$

donde,

$[Y]$: Matriz de admitancia del sistema a la frecuencia "f"

$[V]$: Vector de tensiones armónicas en barra a la frecuencia "f".

$[I]$: Vector de corrientes armónicas inyectadas en barra a la frecuencia "f".

El método común para resolver el sistema de ecuaciones es el método de Newton Raspón, donde la matriz de admitancia $[Y]$ juega el papel de un Jacobiano. Los cálculos pueden ser optimizados utilizando técnicas avanzadas complementarias teniendo en cuenta que la matriz de admitancia $[Y]$ es simétrica y contiene muchos elementos iguales a cero.

En la figura 4.1 se representa la estructura del algoritmo para calcular las tensiones armónicas en las distintas barras del sistema de distribución.

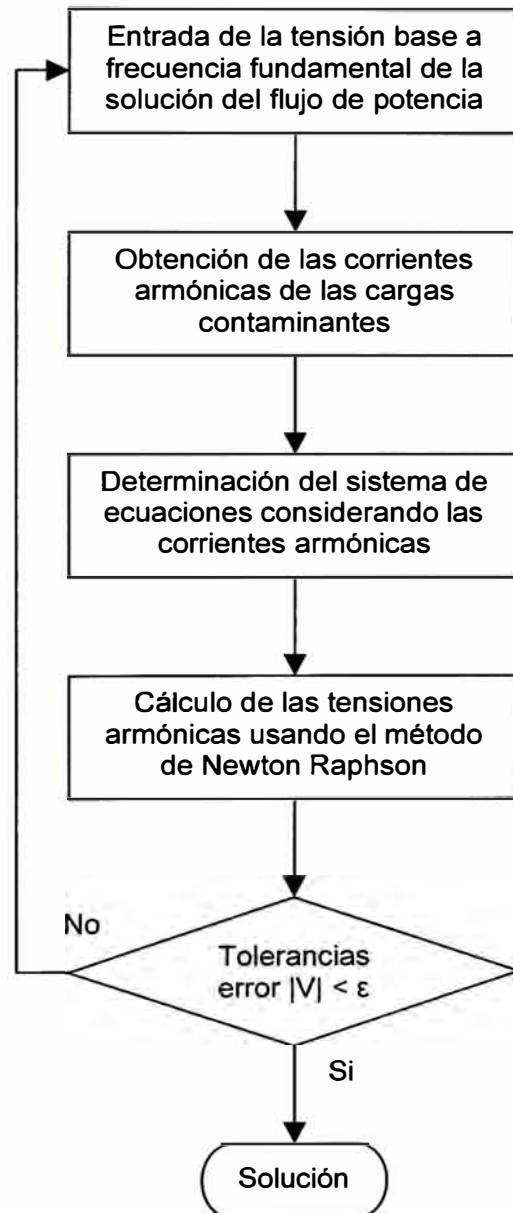


Figura 4.1 Estructura del algoritmo en el dominio de la frecuencia

CAPÍTULO V

APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE ARMÓNICOS

En este capítulo se analiza la puesta en servicio de una carga no lineal en la barra M4 para el circuito en análisis como una aplicación práctica del modelamiento de componentes de un sistema de distribución.

Se utiliza el programa WinHarmo versión 3.0 como herramienta computacional para la simulación de armónicos.

5.1 Sistema de Distribución en análisis

El circuito en análisis esta representado en el esquema unifilar mostrado en la figura N° 5.1.

Los datos de la barra de generación son:

- Sistema	:	Trifásico
- Tensión de operación	:	10,20 kV
- Tensión nominal	:	10,00 kV
- Frecuencia nominal	:	60 Hz
- Corriente de cortocircuito	:	23 956 A

Los datos de los transformadores de distribución, las redes eléctricas de distribución y las cargas, se muestran en las tablas N° 5.1, 5.2 y 5.3, respectivamente.

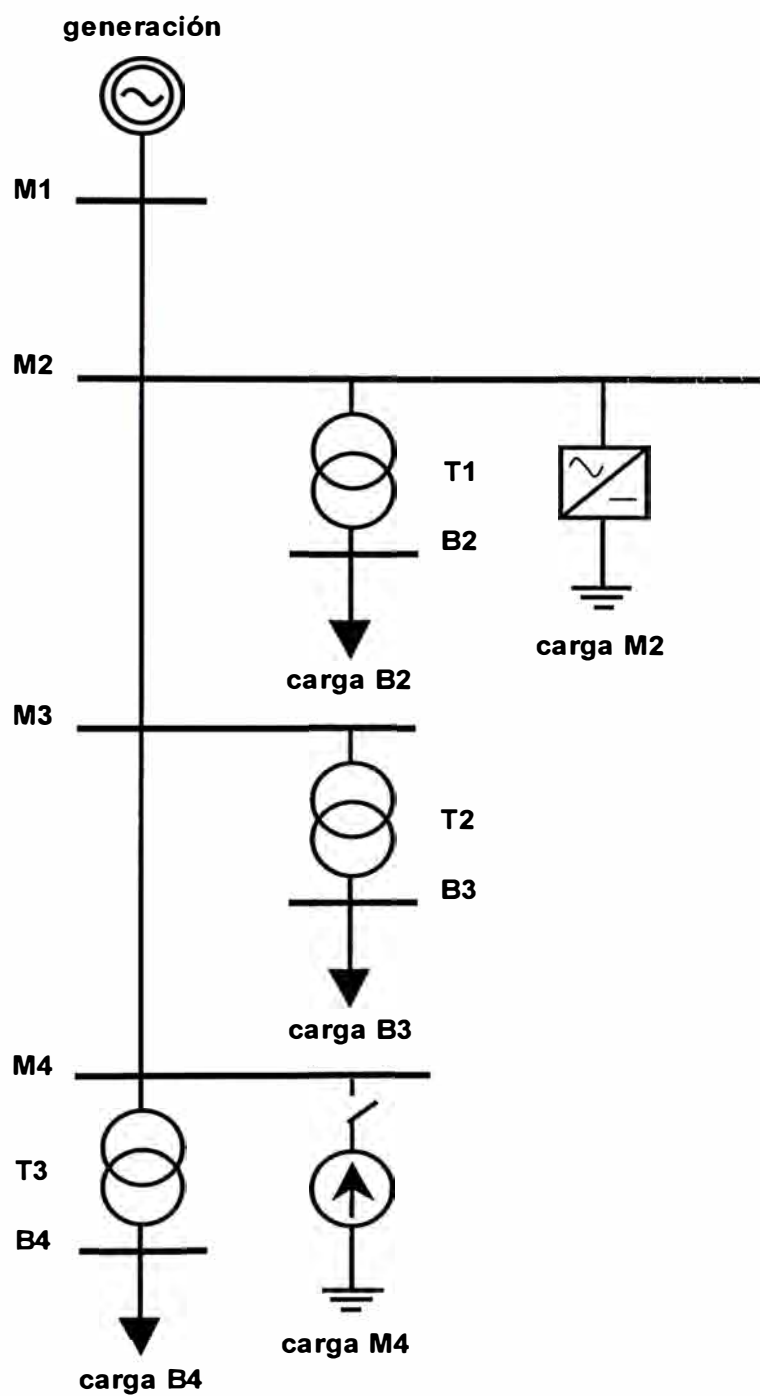


Figura 5.1 Diagrama unifilar del circuito en análisis

Datos de los transformadores de distribución

Datos de placa	T1	T2	T3
Potencia nominal (KVA)	400	640	100
Relación nominal (kV)	10/0,23	10/0,23	10/0,23
Tensión de cortocircuito (%)	4,2	4,1	3,4
Pérdidas en el hierro (W)	950	1477	766
Pérdidas en el cobre (W)	4500	6405	1610
Tipo de conexión	DY5	DY5	DY5

Tabla N° 5.1

Datos de las redes de distribución

Características de los cables	Tramo M1 – M2	Tramo M2 – M3	Tramo M3 – M4
Longitud (m)	123	179	210
Tipo de cable	NKY	N2XSY	N2XSY
Sección (mm ²)	120	70	70
Número de fases	3	3	3
Parámetros eléctricos a 60 Hz			
- Resistencia R ₂₀ (Ω/km)	0,1530	0,2680	0,2680
- Resistencia R (Ω/km)	0,1860	0,3430	0,3430
- Reactancia X (Ω/km)	0,1010	0,1880	0,1880
- Reactancia X _c (Ω/km)	9,8981E+3	1,2854E+4	1,2854E+4

Tabla N° 5.2

Datos de las cargas

Barra	Datos	Comportamiento
B2	P = 300 kW cos Φ = 0,85	Lineal
B3	P = 500 kW cos Φ = 0,90	Lineal
B4	P = 80 kW cos Φ = 0,85	Lineal
M2	S = 1 MVA cos Φ = 0,85 espectro típico : rectificador de 6 pulsos	No lineal
M4	S = 2 MVA cos Φ = 0,85 espectro típico : ver tabla N° 5.4 banco de condensadores = 500 kVAr	No lineal

Tabla N° 5.3

Espectro característico de la carga en barra M4

h	2	3	4	5	6	7	8
%I ₁	3.2	4.0	1.1	3.2	0.6	1.3	0.4
ϕ_h	-120°	0	-120°	0	-120°	0	-120°

Tabla N° 5.4

5.2 Hipótesis para el modelamiento de componentes

- a) Se considera que el circuito es un sistema trifásico con neutro aislado y cargas balanceadas. En la práctica, las cargas pueden ser monofásicas y trifásicas, lineales y no lineales. El estudio realizado por Steffan Hansen, Meter Nielsen y Frede Blaabjerg, concluyen que la presencia simultánea de cargas no lineales monofásicas y trifásicas tienden a disminuir el THD.
- b) Se asume que la barra infinita no genera armónicos hacia el circuito en análisis. En la práctica, la contaminación de armónicos pueden provenir de otros circuitos distintos al circuito en análisis, y cuya inclusión en los análisis pueden llegar a ser relevantes.
- c) Se asume que las cargas ubicadas en las barras de baja tensión son de naturaleza doméstica cuyo comportamiento es lineal.
- d) Se ignora el efecto de la saturación de los transformadores. En consecuencia, el modelo no contempla la rama magnetizante.
- e) Se ignora la capacitancia existente entre los devanados de los transformadores debido a que su efecto es significativo a frecuencias superiores a los 10 kHz, lo que representa armónicos de orden superior a 166 para una frecuencia fundamental de 60 Hz.
- f) Se ignora el desfase existente en el transformador como consecuencia del tipo de conexión de sus devanados. En el circuito en análisis se tiene pocas cargas contaminadoras de armónicas, por lo cual, se asume que el efecto de cancelación de armónicos es mínimo.

- g) Se ignora el efecto capacitivo de las redes eléctricas debido a que las longitudes son relativamente cortas.

5.3 Modelamiento de componentes

- a) Modelo de la barra de generación

La fuente de alimentación se determina de la siguiente expresión:

$$|E(h)| = \begin{cases} V_{operacion\ fase} & h = 1 \\ 0 & h > 1 \end{cases} = \begin{cases} (10,20/\sqrt{3})\ kV & h = 1 \\ 0 & h > 1 \end{cases} \dots (5.1)$$

$$E(h) = \begin{cases} 5,89 \angle 0^\circ\ kV & h = 1 \\ 0 & h > 1 \end{cases} \dots (5.2)$$

La impedancia de cortocircuito a la frecuencia fundamental es:

$$|Z_{cc}| = \frac{|V_{nominal\ fase}|}{|I_{cc\ fase}|} = \frac{(10/\sqrt{3})\ kV}{23956\ A} = 0,2410\ \Omega \dots (5.3)$$

Considerando la resistencia R igual a cero, la impedancia armónica representativa del sistema de alimentación en la barra de generación es:

$$|Z_g(h=1)| = |R + j\omega L * h|_{h=1} = |0 + j\omega L * (1)| = \omega L \dots (5.4)$$

$$|Z_g(1)| = \omega L = |Z_{cc}| = 0,2410\ \Omega \dots (5.5)$$

$$Z_g(h) = j0,2410 * h\ \Omega \dots (5.6)$$

- b) Transformadores de distribución

Los transformadores son representados por una impedancia serie de acuerdo al modelo A propuesto en el presente informe.

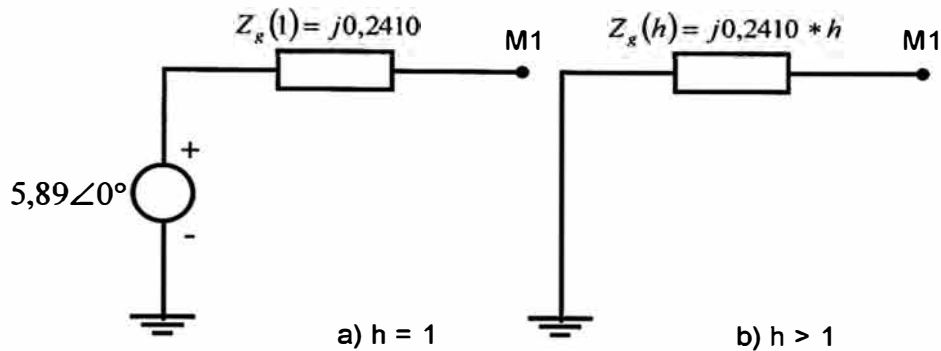


Figura 5.2 Modelo de la barra de generación

La resistencia R evaluado en el lado primario es calculada de las siguientes expresiones:

$$P_{cu} = 3 * I_{no\ min\ al}^2 * R \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

$$S_{no\ min\ al} = \sqrt{3} * V_{no\ min\ al} * I_{no\ min\ al} \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

$$R = \frac{V_{no\ min\ al}^2 * P_{cu}}{S_{no\ min\ al}^2} \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

La reactancia inductiva X a la frecuencia fundamental evaluada en el lado primario es calculada de las siguientes expresiones:

$$Z_{pu} = V_{cc} (\%) \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

$$Z_{no\ min\ al} = \frac{V_{no\ min\ al}^2}{S_{no\ min\ al}} \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

$$X = \sqrt{Z_T^2 - R^2} \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

$$X = \frac{V_{no\ min\ al}^2}{S_{no\ min\ al}} * \sqrt{(V_{cc} (\%))^2 - \left(\frac{P_{cu}}{S_{no\ min\ al}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (5.13)$$

La impedancia armónica representativa del transformador de distribución tiene la siguiente forma:

$$Z_T(h) = R * \sqrt{h} + j\omega L * h \dots\dots\dots (5.14)$$

$$Z_T(h) = R * \sqrt{h} + jX * h \dots\dots\dots (5.15)$$

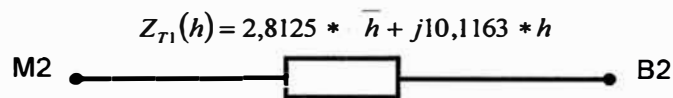
$$Z_T(h) = \left(\frac{V_{nom}^2 * P_{cu}}{S_{nom}^2} \right) * \sqrt{h} + j \left(\frac{V_{nom}^2}{S_{nom}} \right) * \sqrt{(V_{cc}(\%))^2 - \left(\frac{P_{cu}}{S_{nom}} \right)^2} * h \dots\dots\dots (5.16)$$

Reemplazando valores se obtienen las siguientes impedancias armónicas para los transformadores de distribución:

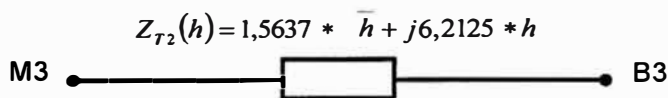
$$Z_{T1}(h) = 2,8125 * \sqrt{h} + j10,1163 * h \dots\dots\dots (5.17)$$

$$Z_{T2}(h) = 1,5637 * \sqrt{h} + j6,2125 * h \dots\dots\dots (5.18)$$

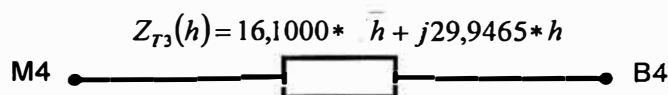
$$Z_{T3}(h) = 16,100 * \sqrt{h} + j29,9465 * h \dots\dots\dots (5.19)$$



a) Transformador T1



b) Transformador T2



c) Transformador T3

Figura 5.3 Modelo A de los transformadores de distribución

c) Redes de distribución

La red eléctrica entre las barras M1 y M2 se representa por la impedancia serie armónica:

$$R_{M_1M_2} = 0,1860 \text{ } \Omega / km * 0,123 \text{ km} = 0,0229 \text{ } \Omega \text{ (5.20)}$$

$$X_{M_1M_2} = 0,1010 \text{ } \Omega / km * 0,123 \text{ km} = 0,0124 \text{ } \Omega \text{ (5.21)}$$

$$Z_{M_1M_2}(h) = 0,0229 + j0,0124 * h \text{ } \Omega \text{ (5.22)}$$

La red eléctrica entre las barras M2 y M3 se representa por la impedancia serie armónica:

$$R_{M_2M_3} = 0,3430 \text{ } \Omega / km * 0,179 \text{ km} = 0,0614 \text{ } \Omega \text{ (5.23)}$$

$$X_{M_2M_3} = 0,1880 \text{ } \Omega / km * 0,179 \text{ km} = 0,0337 \text{ } \Omega \text{ (5.24)}$$

$$Z_{M_2M_3}(h) = 0,0614 + j0,0337 * h \text{ } \Omega \text{ (5.25)}$$

La red eléctrica entre las barras M3 y M4 se representa por la impedancia serie armónica:

$$R_{M_3M_4} = 0,3430 \text{ } \Omega / km * 0,210 \text{ km} = 0,0720 \text{ } \Omega \text{ (5.26)}$$

$$X_{M_3M_4} = 0,1880 \text{ } \Omega / km * 0,210 \text{ km} = 0,0395 \text{ } \Omega \text{ (5.27)}$$

$$Z_{M_3M_4}(h) = 0,0720 + j0,0395 * h \text{ } \Omega \text{ (5.28)}$$

d) Cargas en servicio

Las cargas en las barras B2, B3 y B4, están ubicadas en baja tensión y son modeladas como impedancias paralelos RL por tener un comportamiento de naturaleza doméstica.

Para reflejar dichas cargas en el lado primario de los transformadores de distribución se utiliza el siguiente factor:

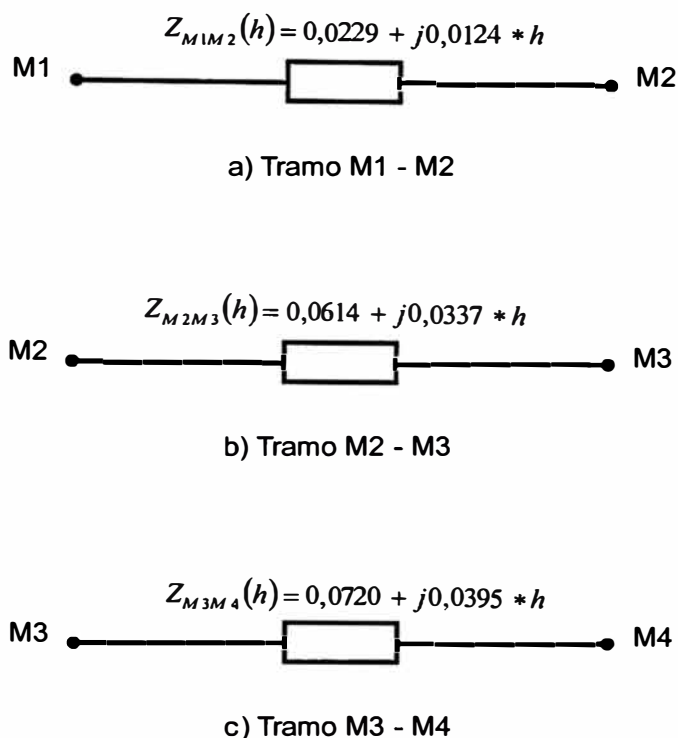


Figura 5.4 Modelo de las redes de distribución

$$a_{T1}^2 = a_{T2}^2 = a_{T3}^2 = \left(\frac{V_M}{V_B} \right)^2 = \left(\frac{10,00kV}{0,23kV} \right)^2 = 1890,3592 \quad \dots\dots\dots (5.29)$$

La carga en la barra B2 reflejado en el lado primario del transformador de distribución se representa por la siguiente impedancia armónica:

$$R_{B2} = a_{T1}^2 * \left(\frac{V_{B2}^2}{P_{B2}} \right) = 1890,3592 * \left(\frac{(0,22kV)^2}{300kW} \right) = 304,9779 \quad \Omega \quad \dots (5.30)$$

$$X_{B2} = a_{T1}^2 * \left(\frac{V_{B2}^2}{Q_{B2}} \right) = \frac{1890,3592 * (0,22kV)^2}{\sqrt{(300kW/0,85)^2 - (300kW)^2}} = 492,1028 \quad \Omega \quad \dots (5.31)$$

$$Z_{B2}(h) = 304,9779 \quad \Omega \quad // \quad j492,1028 * h \quad \Omega \quad \dots\dots\dots (5.32)$$

La carga en la barra B3 reflejado en el lado primario del transformador de distribución se representa por la siguiente impedancia armónica:

$$R_{B3} = a_{T2}^2 * \left(\frac{V_{B3}^2}{P_{B3}} \right) = 1890,3592 * \left(\frac{(0,22kV)^2}{500kW} \right) = 182,9868 \ \Omega \ \dots \ (5.33)$$

$$X_{B3} = a_{T2}^2 * \left(\frac{V_{B3}^2}{Q_{B3}} \right) = \frac{1890,3592 * (0,22kV)^2}{\sqrt{(500kW/0,90)^2 - (300kW)^2}} = 377,8204 \ \Omega \ . \ (5.34)$$

$$Z_{B3}(h) = 182,9868 \ \Omega \ // \ j377,8204 * h \ \Omega \ \dots \dots \dots \ (5.35)$$

La carga en la barra B4 reflejado en el lado primario del transformador de distribución se representa por la siguiente impedancia armónica:

$$R_{B4} = a_{T3}^2 * \left(\frac{V_{B4}^2}{P_{B4}} \right) = 1890,3592 * \left(\frac{(0,22kV)^2}{80kW} \right) = 1143,6673 \ \Omega \ .. \ (5.36)$$

$$X_{B4} = a_{T3}^2 * \left(\frac{V_{B4}^2}{Q_{B4}} \right) = \frac{1890,3592 * (0,22kV)^2}{\sqrt{(80kW/0,85)^2 - (80kW)^2}} = 1845,3856 \ \Omega \ \dots \ (5.37)$$

$$Z_{B4}(h) = 1143,6673 \ \Omega \ // \ j1845,3856 * h \ \Omega \ \dots \dots \dots \ (5.38)$$

La carga en la barra M2 se representa por carga lineal en paralelo a una fuente de corrientes armónicas.

El modelo para la parte lineal de la carga en la barra M2 es una impedancia armónica paralelo RL:

$$R_{M2} = \frac{V_{M2}^2}{P_{M2}} = \frac{(10,00kV)^2}{1000kVA * 0,85} = 117,6471 \ \Omega \ \dots \dots \dots \ (5.39)$$

$$X_{M2} = \frac{V_{M2}^2}{Q_{M2}} = \frac{(10,00kV)^2}{\sqrt{(1000kVA)^2 - (1000kVA * 0,85)^2}} = 189,8316 \ \Omega \ \dots \ (5.40)$$

$$Z_{M2}(h) = 117,6471 \ \Omega \ // \ j189,8316 * h \ \Omega \ \dots \dots \dots \ (5.41)$$

El modelo para la parte no lineal de la carga en la barra M4 es una fuente de corrientes armónicas definido por las siguientes expresiones según el software WinHarmo:

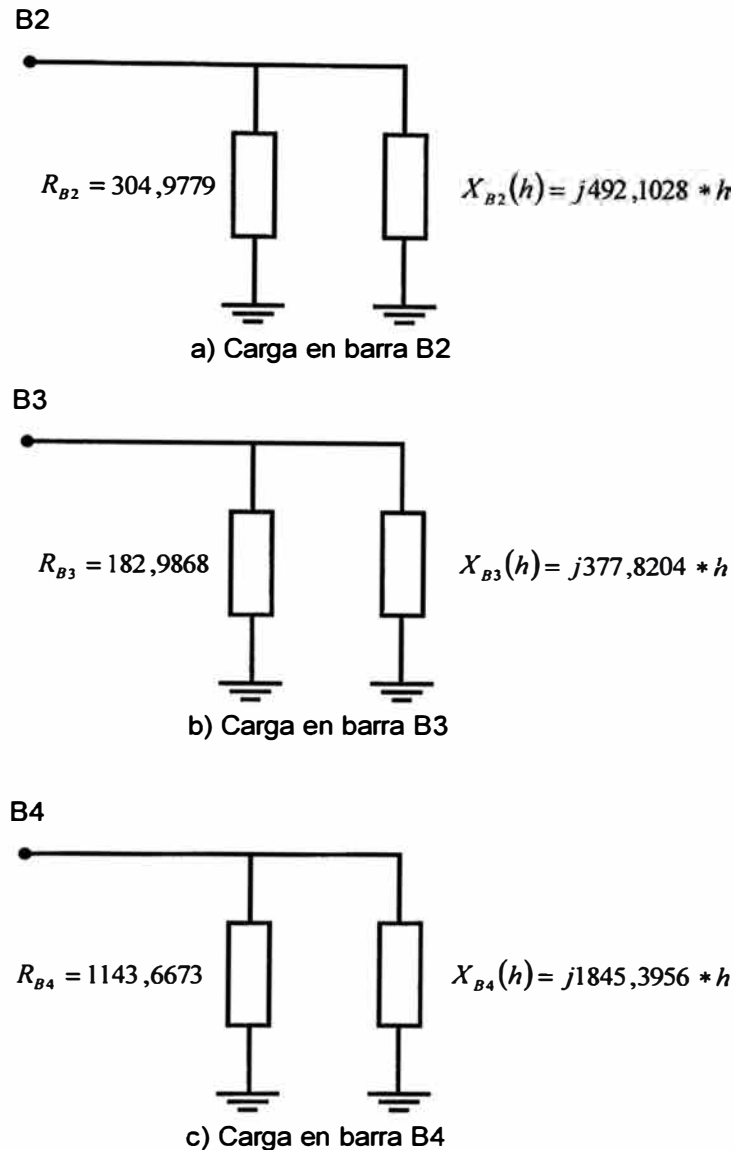


Figura 5.5 Modelo de las cargas B2, B3 y B4

$$I_{M2}(h) = A(h, i) * \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} * V_{nom}} * \left[\frac{1}{\left(h - \frac{5}{h}\right)^{1,2}} + O(h) * r \right], \text{ con } \begin{cases} h = 6k \pm 1 \\ \phi_h = h * \alpha \end{cases} \quad (5.42)$$

Asumiendo un factor de ondulación de $r(\%) = 0$, un ángulo de disparo de $\alpha(^{\circ}) = 0$ y considerando un factor de $A(h, i) = 1$ para un solo rectificador conectado a la barra M2, la ecuación anterior se reduce a:

$$I_{M2}(h) = 1 * \frac{1000kVA}{\sqrt{3} * 10,00kV} * \left[\frac{1}{\left(\frac{h-5}{h}\right)^{1,2}} + O(h) * 0 \right], \text{ con } \begin{cases} h = 6k \pm 1 \\ \phi_h = h * 0 \end{cases} \quad (5.43)$$

$$I_{M2}(h) = \frac{57,7350}{\left(\frac{h-5}{h}\right)^{1,2}} \text{ A} \quad \text{con } \begin{cases} h = 6k \pm 1 \\ \phi_h = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (5.44)$$

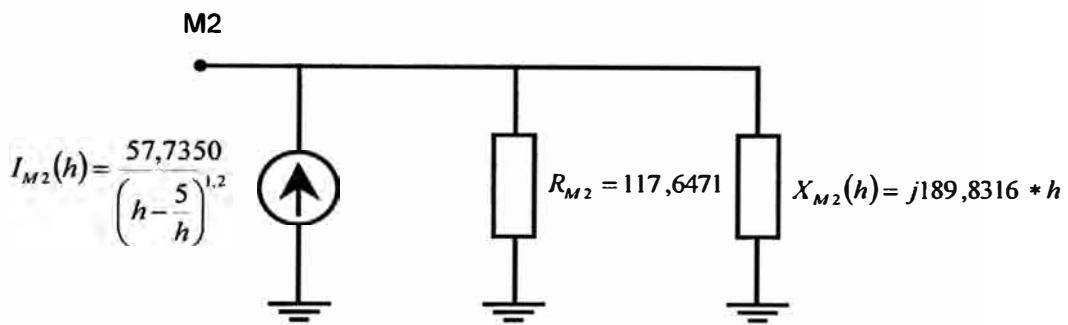


Figura 5.6 Modelo de la carga M2

e) Carga proyectada en barra M4

El modelo para la parte lineal de la carga en la barra M4 es una impedancia armónica paralelo RL:

$$R_{M4} = \frac{V_{M4}^2}{P_{M4}} = \frac{(10,00kV)^2}{2000kVA * 0,85} = 58,8235 \ \Omega \quad \dots\dots\dots (5.45)$$

$$X_{M4} = \frac{V_{M4}^2}{Q_{M4}} = \frac{(10,00kV)^2}{\sqrt{(2000kVA)^2 - (2000kVA * 0,85)^2}} = 94,9158 \ \Omega \quad \dots\dots (5.46)$$

$$Z_{M4}(h) = 58,8235 \ \Omega \ // \ j94,9158 * h \ \Omega \quad \dots\dots\dots (5.47)$$

El modelo para el banco de condensadores es:

$$X_{BC_M4} = \frac{V_{M4}^2}{Q_{M4}} = \frac{(10,00kV)^2}{500kVAr} = 200,0000 \ \Omega \quad \dots\dots\dots (5.48)$$

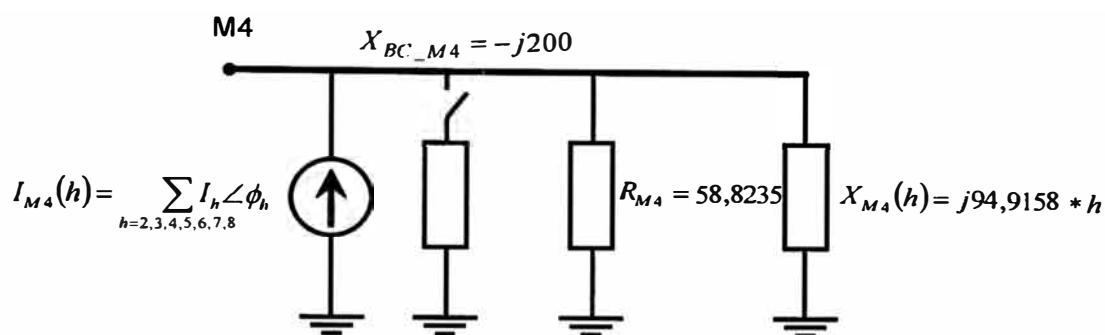


Figura 5.7 Modelo de la carga M4

El modelo para la parte no lineal de la carga en la barra M4 es una fuente de corrientes armónicas cuyo espectro característico se detalla en la tabla N° 5.3.

Espectro característico de la carga perturbadora

h	2	3	4	5	6	7	8
%I ₁	3.2	4.0	1.1	3.2	0.6	1.3	0.4
I _h	3.70	4.62	1.27	3.70	0.69	1.50	0.46
ϕ _h	-120°	0	-120°	0	-120°	0	-120°

Tabla N° 5.3

5.4 Resultados del software WinHarmo versión 3.0

El análisis del efecto de la puesta en servicio de una carga perturbadora en el circuito en análisis, se realiza en base a tres escenarios: sin carga perturbadora en la barra M4, carga perturbadora sin banco de condensadores en la barra M4, y carga perturbadora con banco de condensadores en la barra M4.

5.4.1 Sin carga perturbadora

a) Matriz de impedancias

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 60.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 40.184490

2 0.243452

3 0.257042

4 0.302300

5 0.366004

6 0.260654

7 0.308048

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.243452

2 0.240690

3 0.240623

4 0.240507

5 0.240487

6 0.244004

7 0.245080

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.257042

2 0.240623

3 0.254056

4 0.253933

5 0.253912

6 0.257626

7 0.258761

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.302300

2	0.240507
3	0.253933
4	0.298643
5	0.298619
6	0.257501
7	0.304321

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.366004
2	0.240487
3	0.253912
4	0.298619
5	0.361547
6	0.257480
7	0.304297

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.260654
2	0.244004
3	0.257626
4	0.257501
5	0.257480
6	11.782624
7	0.262397

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.308048
2	0.245080
3	0.258761
4	0.304321
5	0.304297
6	0.262397
7	7.334038

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 120.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 79.165184
 2 0.479657
 3 0.505409
 4 0.583705
 5 0.686851
 6 0.507228
 7 0.588964

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.479657
 2 0.481282
 3 0.481104
 4 0.480792
 5 0.480740
 6 0.482836
 7 0.485124

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.505409
 2 0.481104
 3 0.506934
 4 0.506604
 5 0.506550
 6 0.508758
 7 0.511169

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.583705
 2 0.480792
 3 0.506604
 4 0.585086
 5 0.585023
 6 0.508428
 7 0.590357

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.686851
 2 0.480740

3	0.506550
4	0.585023
5	0.688402
6	0.508373
7	0.590294

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.507228
2	0.482836
3	0.508758
4	0.508428
5	0.508373
6	23.316494
7	0.513009

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.588964
2	0.485124
3	0.511169
4	0.590357
5	0.590294
6	0.513009
7	14.507128

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 180.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	116.938522
2	0.708326
3	0.745849
4	0.856069
5	0.996983
6	0.740125
7	0.854453

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.708326
---	----------

2	0.721679
3	0.721356
4	0.720788
5	0.720695
6	0.715820
7	0.719427

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.745849
2	0.721356
3	0.759570
4	0.758971
5	0.758874
6	0.753741
7	0.757539

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.856069
2	0.720788
3	0.758971
4	0.871131
5	0.871019
6	0.753147
7	0.869486

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.996983
2	0.720695
3	0.758874
4	0.871019
5	1.014394
6	0.753051
7	0.869375

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.740125
2	0.715820
3	0.753741
4	0.753147

5 0.753051
 6 34.574631
 7 0.751725

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.854453
 2 0.719427
 3 0.757539
 4 0.869486
 5 0.869375
 6 0.751725
 7 21.509705

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 240.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 153.480774
 2 0.929232
 3 0.978126
 4 1.119185
 5 1.296526
 6 0.958884
 7 1.103984

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.929232
 2 0.961791
 3 0.961291
 4 0.960412
 5 0.960271
 6 0.942380
 7 0.947367

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.978126
 2 0.961291

3	1.011873
4	1.010947
5	1.010799
6	0.991967
7	0.997216

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.119185
2	0.960412
3	1.010947
4	1.156739
5	1.156569
6	0.991059
7	1.141028

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.296526
2	0.960271
3	1.010799
4	1.156569
5	1.339834
6	0.990914
7	1.140861

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.958884
2	0.942380
3	0.991967
4	0.991059
5	0.990914
6	45.531849
7	0.977599

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.103984
2	0.947367
3	0.997216
4	1.141028
5	1.140861

6 0.977598
7 28.325050

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 300.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 188.777695

2 1.142234

3 1.202093

4 1.372897

5 1.585382

6 1.163263

7 1.337236

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.142234

2 1.201545

3 1.200838

4 1.199593

5 1.199396

6 1.162050

7 1.168434

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.202092

2 1.200838

3 1.263767

4 1.262457

5 1.262249

6 1.222946

7 1.229665

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.372897

2 1.199593

3 1.262457

4	1.441839
5	1.441601
6	1.221678
7	1.404387

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.585382
2	1.199396
3	1.262249
4	1.441601
5	1.664720
6	1.221477
7	1.404156

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.163263
2	1.162050
3	1.222946
4	1.221678
5	1.221477
6	56.167465
7	1.189945

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.337236
2	1.168434
3	1.229665
4	1.404387
5	1.404156
6	1.189945
7	34.938911

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 360.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	222.824677
---	------------

2	1.347265
3	1.417675
4	1.617127
5	1.863489
6	1.353218
7	1.554111

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.347265
2	1.440876
3	1.439932
4	1.438267
5	1.438006
6	1.374463
7	1.382221

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.417675
2	1.439933
3	1.515186
4	1.513433
5	1.513158
6	1.446295
7	1.454458

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.617127
2	1.438267
3	1.513433
4	1.726357
5	1.726043
6	1.444622
7	1.659084

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.863489
2	1.438006
3	1.513158
4	1.726043

5	1.988999
6	1.444360
7	1.658783

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.353218
2	1.374463
3	1.446295
4	1.444622
5	1.444360
6	66.465317
7	1.388328

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.554111
2	1.382221
3	1.454458
4	1.659085
5	1.658783
6	1.388328
7	41.339912

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 420.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	255.625854
2	1.544325
3	1.624876
4	1.851878
5	2.130862
6	1.528880
7	1.754716

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.544325
2	1.679733

3	1.678522
4	1.676383
5	1.676051
6	1.579357
7	1.588428

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.624876
2	1.678522
3	1.766073
4	1.763823
5	1.763473
6	1.661736
7	1.671280

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.851878
2	1.676383
3	1.763823
4	2.010236
5	2.009838
6	1.659618
7	1.904765

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.130862
2	1.676051
3	1.763473
4	2.009838
5	2.312618
6	1.659289
7	1.904388

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.528880
2	1.579357
3	1.661736
4	1.659618
5	1.659289

6 76.413589
7 1.572543

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.754715
2 1.588428
3 1.671280
4 1.904765
5 1.904387
6 1.572543
7 47.519554

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 480.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 287.193146
2 1.733482
3 1.823767
4 2.077232
5 2.387594
6 1.690538
7 1.939343

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.733482
2 1.918085
3 1.916576
4 1.913910
5 1.913499
6 1.776567
7 1.786863

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.823767
2 1.916576
3 2.016397

4	2.013592
5	2.013160
6	1.869096
7	1.879928

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.077232
2	1.913910
3	2.013592
4	2.293439
5	2.292947
6	1.866496
7	2.141198

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.387594
2	1.913499
3	2.013160
4	2.292947
5	2.635540
6	1.866095
7	2.140739

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.690538
2	1.776567
3	1.869096
4	1.866496
5	1.866095
6	86.004433
7	1.742596

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.939343
2	1.786863
3	1.879928
4	2.141198
5	2.140739
6	1.742596

7 53.472095

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 540.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 317.545044

2 1.914845

3 2.014462

4 2.293317

5 2.633835

6 1.838589

7 2.108420

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.914845

2 2.155896

3 2.154060

4 2.150815

5 2.150318

6 1.965999

7 1.977407

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.014462

2 2.154061

3 2.266123

4 2.262708

5 2.262186

6 2.068278

7 2.080278

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.293317

2 2.150815

3 2.262708

4 2.575927

5 2.575333
 6 2.065161
 7 2.368244

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.633835
 2 2.150319
 3 2.262186
 4 2.575333
 5 2.957725
 6 2.064685
 7 2.367698

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.838589
 2 1.965999
 3 2.068278
 4 2.065161
 5 2.064685
 6 95.233719
 7 1.898659

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.108420
 2 1.977407
 3 2.080278
 4 2.368244
 5 2.367698
 6 1.898659
 7 59.194275

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 600.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 346.705322
 2 2.088568

3	2.197124
4	2.500319
5	2.869793
6	1.973535
7	2.262497

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.088568
2	2.393147
3	2.390956
4	2.387079
5	2.386491
6	2.147642
7	2.160028

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.197123
2	2.390956
3	2.515229
4	2.511150
5	2.510531
6	2.259268
7	2.272298

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.500319
2	2.387079
3	2.511150
4	2.857681
5	2.856976
6	2.255605
7	2.585867

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.869792
2	2.386491
3	2.510531
4	2.856976
5	3.279153

6 2.255049
7 2.585230

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.973535
2 2.147642
3 2.259268
4 2.255605
5 2.255049
6 104.100502
7 2.041059

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.262497
2 2.160028
3 2.272298
4 2.585868
5 2.585230
6 2.041060
7 64.685097

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 660.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 374.702362
2 2.254848
3 2.371959
4 2.698469
5 3.095728
6 2.095957
7 2.402221

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.254848
2 2.629837
3 2.627262

4	2.622704
5	2.622017
6	2.321553
7	2.334774

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.371959
2	2.627262
3	2.763715
4	2.758920
5	2.758198
6	2.442128
7	2.456036

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.698470
2	2.622705
3	2.758920
4	3.138698
5	3.137876
6	2.437892
7	2.794120

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.095728
2	2.622017
3	2.758197
4	3.137876
5	3.599822
6	2.437253
7	2.793388

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.095958
2	2.321553
3	2.442128
4	2.437892
5	2.437253
6	112.606766

7 2.170251

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.402221

2 2.334774

3 2.456036

4 2.794120

5 2.793388

6 2.170251

7 69.945557

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 720.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 401.567993

2 2.413898

3 2.539191

4 2.888021

5 3.311925

6 2.206479

7 2.528294

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.413898

2 2.865956

3 2.862971

4 2.857684

5 2.856891

6 2.487833

7 2.501735

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.539191

2 2.862971

3 3.011573

4 3.006012

5	3.005178
6	2.616964
7	2.631588

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.888021
2	2.857684
3	3.006011
4	3.418973
5	3.418025
6	2.612132
7	2.993111

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.311925
2	2.856891
3	3.005178
4	3.418025
5	3.919722
6	2.611407
7	2.992281

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.206479
2	2.487833
3	2.616964
4	2.612132
5	2.611407
6	120.756882
7	2.286769

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.528294
2	2.501735
3	2.631588
4	2.993111
5	2.992281
6	2.286769
7	74.978310

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 780.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 427.336609

2 2.565971

3 2.699087

4 3.069273

5 3.518717

6 2.305777

7 2.641480

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.565972

2 3.101529

3 3.098107

4 3.092046

5 3.091142

6 2.646653

7 2.661079

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.699087

2 3.098107

3 3.258828

4 3.252453

5 3.251502

6 2.783954

7 2.799128

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.069273

2 3.092046

3 3.252453

4 3.698534

5 3.697453

6 2.778507
7 3.183035

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.518717
2 3.091142
3 3.251502
4 3.697453
5 4.238883
6 2.777695
7 3.182105

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.305778
2 2.646653
3 2.783954
4 2.778507
5 2.777695
6 128.557266
7 2.391241

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.641480
2 2.661079
3 2.799128
4 3.183035
5 3.182104
6 2.391241
7 79.787460

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 840.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 452.044739
2 2.711295
3 2.851886

4	3.242499
5	3.716414
6	2.394511
7	2.742532

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.711295
2	3.336536
3	3.332653
4	3.325773
5	3.324751
6	2.798173
7	2.812965

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.851887
2	3.332653
3	3.505463
4	3.498227
5	3.497152
6	2.943269
7	2.958829

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.242499
2	3.325773
3	3.498227
4	3.977366
5	3.976144
6	2.937193
7	3.364089

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.716414
2	3.324751
3	3.497152
4	3.976144
5	4.557287
6	2.936291

7 3.363055

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.394511
2	2.798173
3	2.943269
4	2.937193
5	2.936291
6	136.016006
7	2.484302

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.742532
2	2.812965
3	2.958828
4	3.364089
5	3.363055
6	2.484302
7	84.378258

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 900.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	475.730042
2	2.850160
3	2.997894
4	3.408039
5	3.905395
6	2.473389
7	2.832258

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.850161
2	3.571025
3	3.566658
4	3.558918

5	3.557773
6	2.942643
7	2.957646

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.997894
2	3.566657
3	3.751529
4	3.743388
5	3.742183
6	3.095170
7	3.110950

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.408039
2	3.558917
3	3.743388
4	4.255525
5	4.254155
6	3.088453
7	3.536562

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.905395
2	3.557772
3	3.742183
4	4.254155
5	4.874990
6	3.087459
7	3.535424

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.473389
2	2.942643
3	3.095170
4	3.088453
5	3.087459
6	143.142532
7	2.566665

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.832258
2	2.957646
3	3.110950
4	3.536562
5	3.535424
6	2.566665
7	88.756882

b) Tensiones armónicas en barras

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *

* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 300 420 660 780 1020

B4	0.228	0.179	0.140	0.129	0.111
M1	0.228	0.185	0.156	0.148	0.137
M2	0.239	0.195	0.164	0.156	0.145
M3	0.239	0.194	0.163	0.155	0.144
M4	0.239	0.194	0.163	0.155	0.144
B2	0.232	0.183	0.145	0.133	0.115
B3	0.233	0.184	0.145	0.134	0.116

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *

* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 1140 1380 1500 1740 1860

B4	0.105	0.093	0.088	0.079	0.076
M1	0.134	0.127	0.125	0.120	0.118
M2	0.140	0.134	0.131	0.127	0.125
M3	0.140	0.134	0.131	0.126	0.124
M4	0.140	0.133	0.131	0.126	0.124
B2	0.108	0.096	0.090	0.081	0.077
B3	0.108	0.096	0.091	0.081	0.077

```
*****
* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *
*****
```

Frec. (Hz):	2100	2220	2460	2580	2820
B4	0.069	0.066	0.061	0.058	0.054
M1	0.115	0.114	0.111	0.110	0.108
M2	0.121	0.120	0.117	0.115	0.113
M3	0.121	0.119	0.116	0.115	0.113
M4	0.121	0.119	0.116	0.115	0.113
B2	0.070	0.067	0.062	0.059	0.054
B3	0.070	0.067	0.061	0.059	0.054

```
*****
* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *
*****
```

Frec. (Hz):	2940
B4	0.052
M1	0.107
M2	0.112
M3	0.112
M4	0.111
B2	0.052
B3	0.052

c) THD de tensión (h = 2 hasta h = 40)

```
*****
* RESULTADOS DE THD EN BARRAS *
*****
```

BARRA	THD (%)	THD NTCSE (%)
B4	0.41	8.00
M1	0.50	8.00
M2	0.52	8.00
M3	0.52	8.00
M4	0.52	8.00
B2	0.42	8.00
B3	0.42	8.00

d) Flujo de armónicos (amperios)

```
*****
* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS)      *
* ENVIO     RECEPCIÓN                  *
*****
```

ARMÓNICO		5	7	11	13	17
=====						
B4	-----					
	M4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
	Carga	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2
M1	-----					
	Generador	10.9	6.3	3.4	2.7	1.9
	M2	10.9	6.3	3.4	2.7	1.9
M2	-----					
	M1	10.9	6.3	3.4	2.7	1.9
	M3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	Rectificador	10.9	6.4	3.4	2.8	2.0
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	-----					
	M4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	B3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
M4	-----					
	M3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2	-----					
	Carga	1.8	1.4	1.1	1.0	0.9
	M2	1.8	1.4	1.1	1.0	0.9
B3	-----					
	M3	3.1	2.4	1.9	1.8	1.5
	Carga	3.1	2.4	1.9	1.8	1.5
=====						

```
*****
* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS)      *
* ENVIO     RECEPCIÓN                  *
*****
```

ARMÓNICO		19	23	25	29	31
=====						
B4	-----					
	M4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

M1	Carga	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

	Generador	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9
M2	M2	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9

	M1	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9
	M3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rectificador	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9
M3	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	M4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M4	B3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	M3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2	-----					
	Carga	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6
	M2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6
B3	-----					
	M3	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
	Carga	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *

* ENVIO RECEPCIÓN *

=====						
ARMÓNICO	35	37	41	43	47	49
=====						

B4	-----					
	M4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
M1	-----					
	Generador	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
	M2	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
M2	-----					
	M1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
	M3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Rectificador	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	-----					
	M4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	B3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

M4	-----						
M3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2	-----						
Carga	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
M2	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
B3	-----						
M3	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
Carga	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
=====							

e) Flujo de armónicos (potencia)

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

=====							
ARMÓNICO	5	7	11				
=====							
B4	-----						
M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
Gener.	-0.000	0.430	0.000	0.203	0.000	0.091	0.091
M2	0.000	-0.430	0.000	-0.203	0.000	-0.091	-0.091
M2	-----						
M1	0.018	0.452	0.007	0.213	0.003	0.096	0.096
M3	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Rectif.	0.023	0.453	0.010	0.214	0.005	0.097	0.097
B2	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
M3	-----						
M4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2	-0.003	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
B3	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
M4	-----						
M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	-----						
Carga	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
M2	-0.002	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.000
B3	-----						
M3	-0.003	-0.000	-0.002	-0.000	-0.001	-0.000	-0.000
Carga	0.003	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		13		17		19
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	-0.000	0.070	0.000	0.046	0.000
	M	20.000	-0.070	0.000	-0.046	0.000
M2	M1	0.002	0.073	0.001	0.049	0.001
	M3	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
	Rectif.	0.004	0.074	0.002	0.049	0.002
	B2	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	M4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001
	B3	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
M4	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	Carga	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	M3	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001
	Carga	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		23		25		29
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

M1	-----						
	Gener.	-0.000	0.029	-0.000	0.026	-0.000	0.021
	M2	0.000	-0.029	-0.000	-0.026	-0.000	-0.021
M2	-----						
	M1	0.001	0.031	0.000	0.027	0.000	0.022
	M3	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Rectif.	0.002	0.031	0.001	0.028	0.001	0.022
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	-----						
	M4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000
	B3	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	-----						
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	-----						
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	-----						
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	=====						

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO	31	35	37				
B4	-----						
	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
	Gener.	0.000	0.019	-0.000	0.016	0.000	0.014
	M2	-0.000	-0.019	0.000	-0.016	0.000	-0.014
M2	-----						
	M1	0.000	0.020	0.000	0.017	0.000	0.015
	M3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Rectif.	0.001	0.020	0.001	0.017	0.001	0.016
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	-----						
	M4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	-----						

	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	-----						
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	-----						
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		41	43	47			
B4	-----						
	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
	Gener.	-0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.010
	M2	0.000	-0.012	0.000	-0.012	0.000	-0.010
M2	-----						
	M1	0.000	0.013	0.000	0.012	0.000	0.011
	M3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Rectif.	0.001	0.014	0.001	0.013	0.001	0.011
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	-----						
	M4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	-----						
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	-----						
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	-----						
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *

* ENVIO RECEPCIÓN *

=====

ARMÓNICO 49

=====

B4	-----	
	M4	-0.000 -0.000
	Carga	0.000 0.000
M1	-----	
	Gener.	0.000 0.010
	M2	0.000 -0.010
M2	-----	
	M1	0.000 0.010
	M3	0.000 0.000
	Rectif.	0.000 0.011
	B2	0.000 0.000
M3	-----	
	M4	0.000 0.000
	M2	-0.000 -0.000
	B3	0.000 0.000
M4	-----	
	M3	-0.000 -0.000
	B4	0.000 0.000
B2	-----	
	Carga	0.000 0.000
	M2	-0.000 -0.000
B3	-----	
	M3	-0.000 -0.000
	Carga	0.000 0.000

=====

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	5	7	11
EN ENLACES	: 0.018	0.007	0.003
EN CARGAS	: 0.005	0.003	0.002
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000

PÉRDIDAS TOTALES: 0.023 0.010 0.005

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	13	17	19
EN ENLACES	: 0.002	0.001	0.001
EN CARGAS	: 0.002	0.001	0.001
SISTEMAS EQUI.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.004	0.002	0.002

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	23	25	29
EN ENLACES	: 0.001	0.001	0.001
EN CARGAS	: 0.001	0.001	0.001
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	-0.000	-0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.002	0.001	0.001

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	31	35	37
EN ENLACES	: 0.000	0.000	0.000
EN CARGAS	: 0.001	0.000	0.000

SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: 0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.001	0.001	0.001

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	41	43	47
EN ENLACES	: 0.000	0.000	0.000
EN CARGAS	: 0.000	0.000	0.000
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.001	0.001	0.001

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	49
EN ENLACES	: 0.000
EN CARGAS	: 0.000
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000
MOTORES	: 0.000
GENERADORES	: 0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000
CAPACITORES	: 0.000
REACTORES	: 0.000
FILTROS	: 0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.000

PÉRDIDAS TOTALES ARM. : 0.055 KW
PÉRDIDAS TOTALES FLUJO. 11.318 KW

f) Barrido de frecuencias en barras

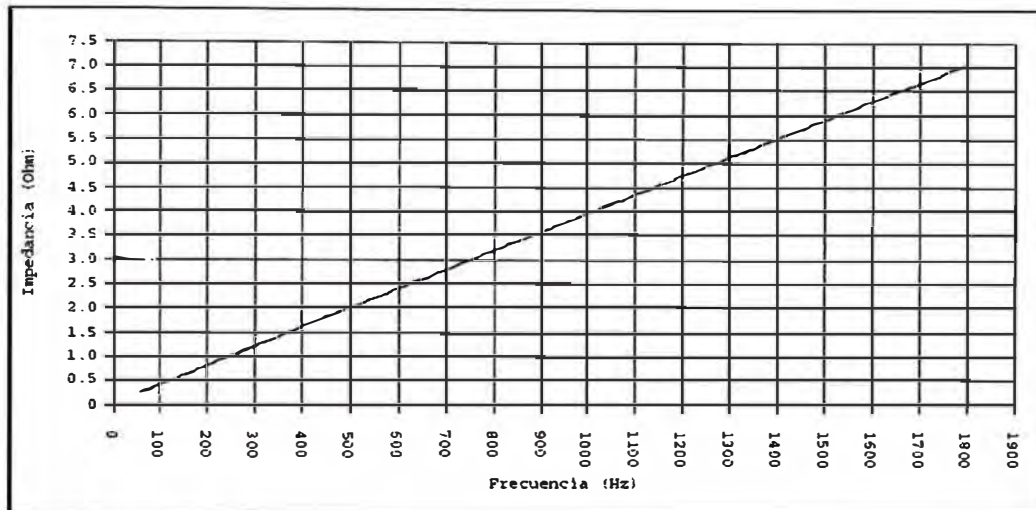


Figura 5.8 Barrido de frecuencias en barra M1

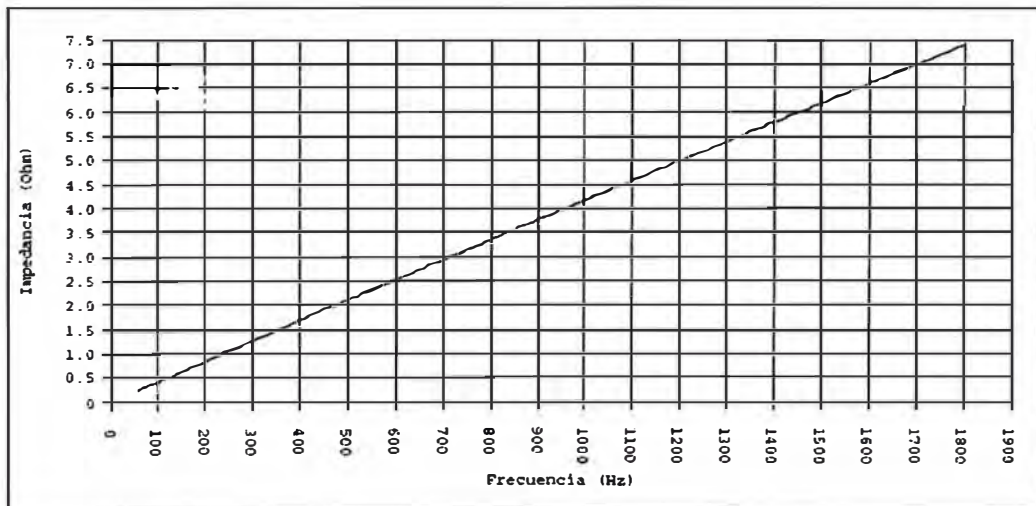


Figura 5.9 Barrido de frecuencias en barra M2

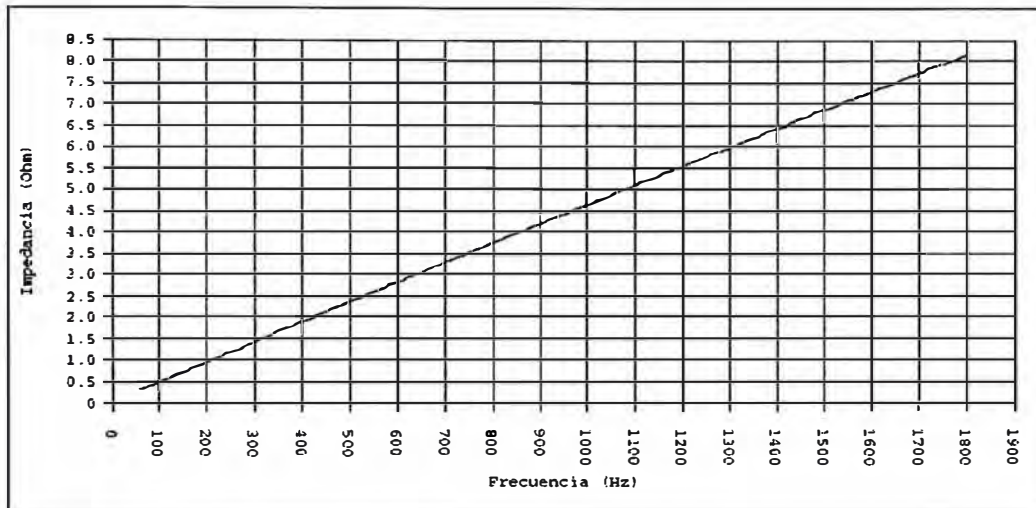


Figura 5.10 Barrido de frecuencias en barra M3

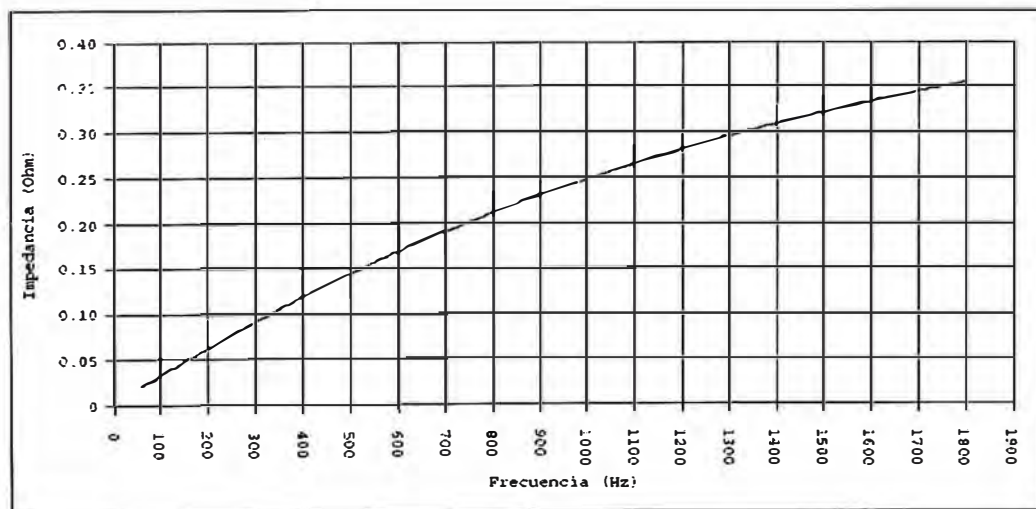


Figura 5.11 Barrido de frecuencias en barra M4

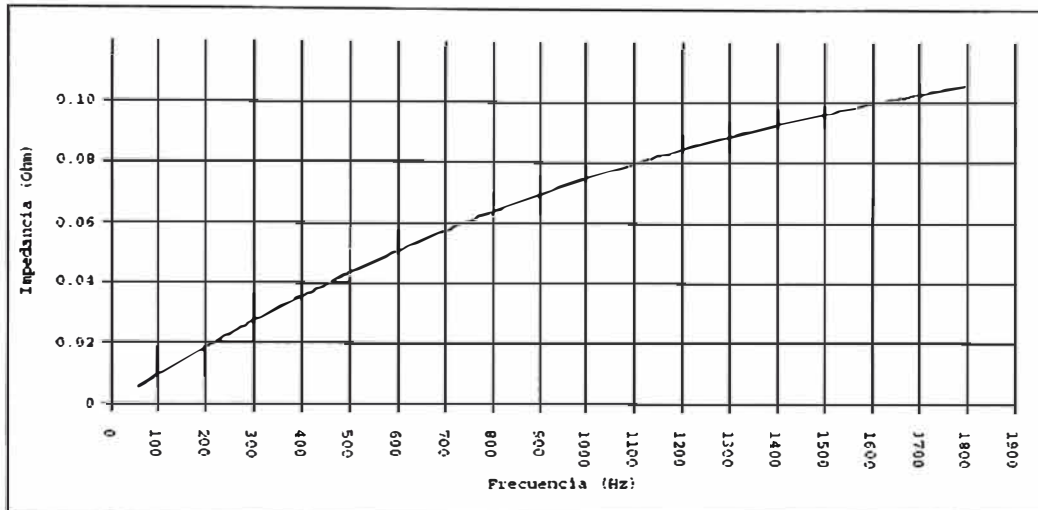


Figura 5.12 Barrido de frecuencias en barra B2

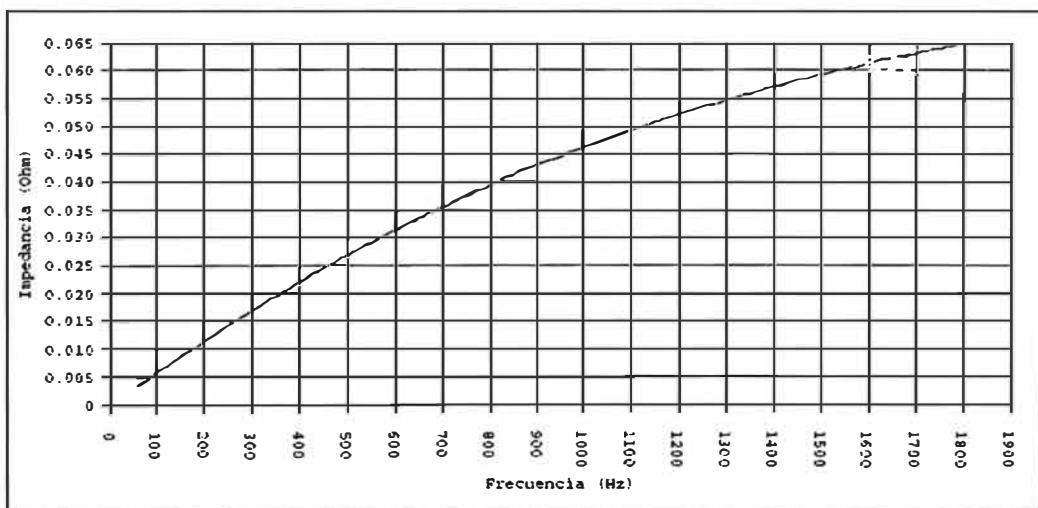


Figura 5.13 Barrido de frecuencias en barra B3

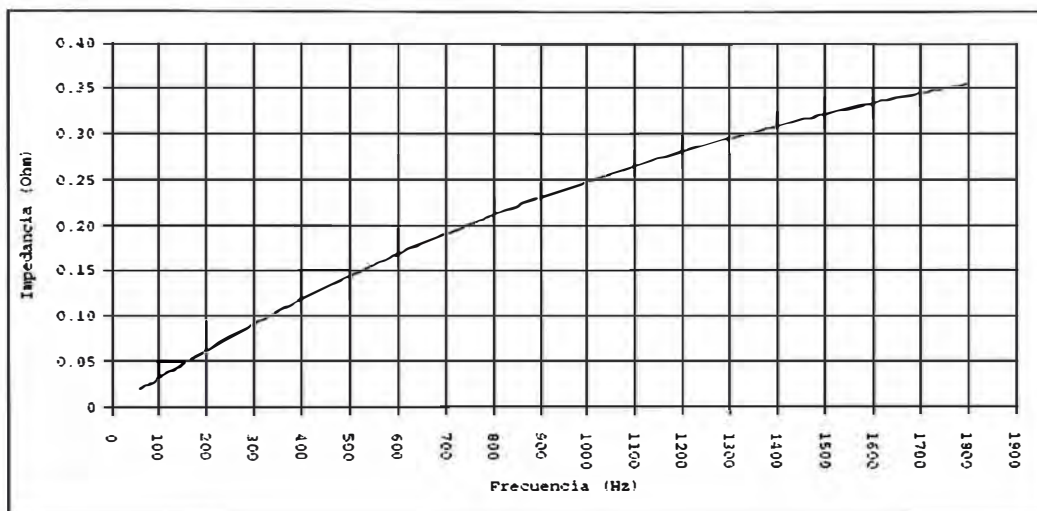


Figura 5.14 Barrido de frecuencias en barra B4

g) Espectro de armónicos en barras y cargas

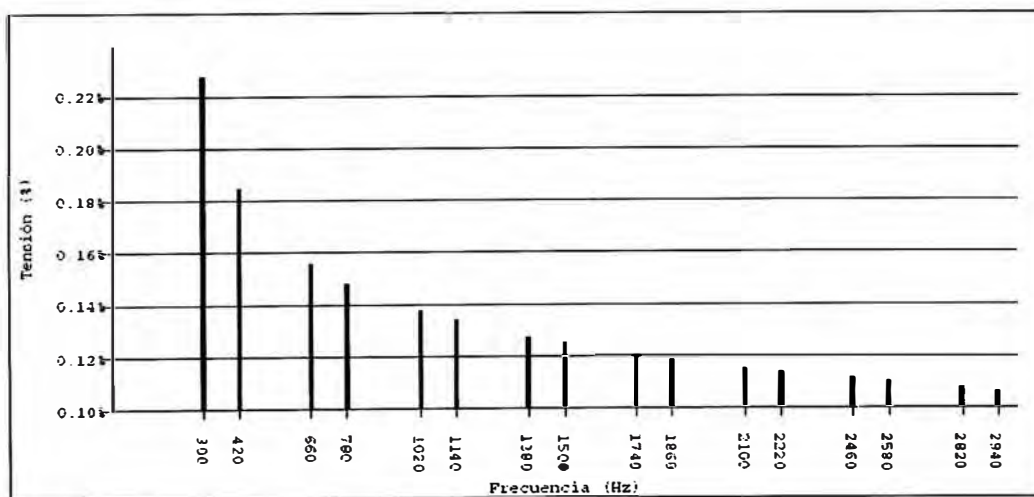


Figura 5.15 Espectro de tensiones armónicas en barra M1

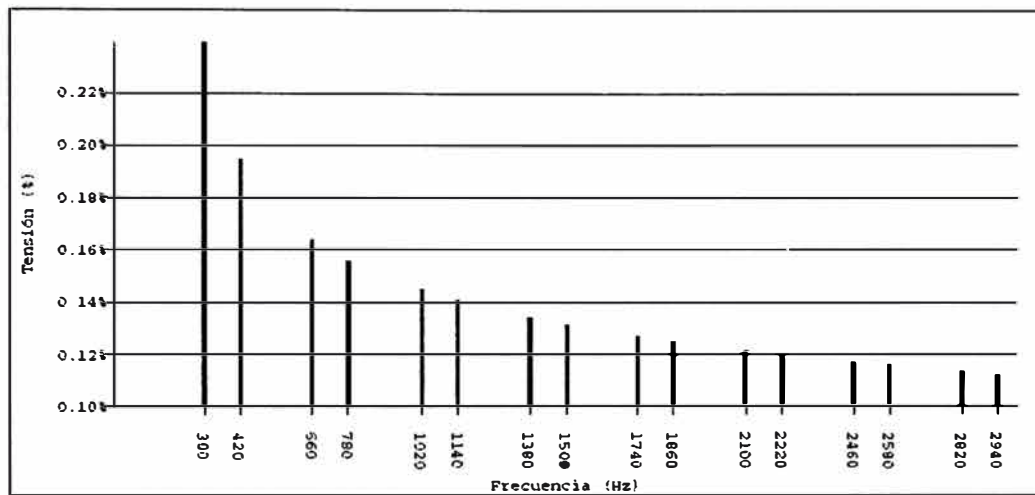


Figura 5.16 Espectro de tensiones armónicas en barra M2

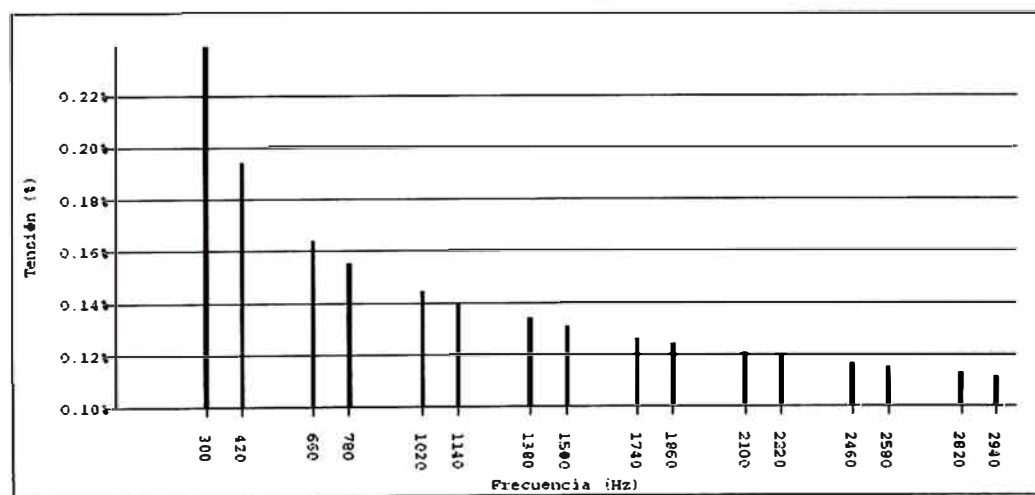


Figura 5.17 Espectro de tensiones armónicas en barra M3

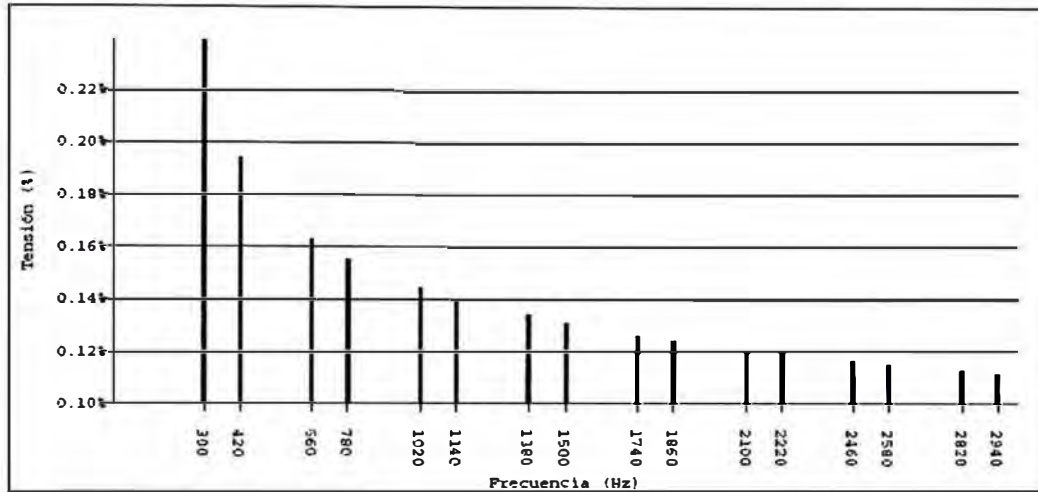


Figura 5.18 Espectro de tensiones armónicas en barra M4

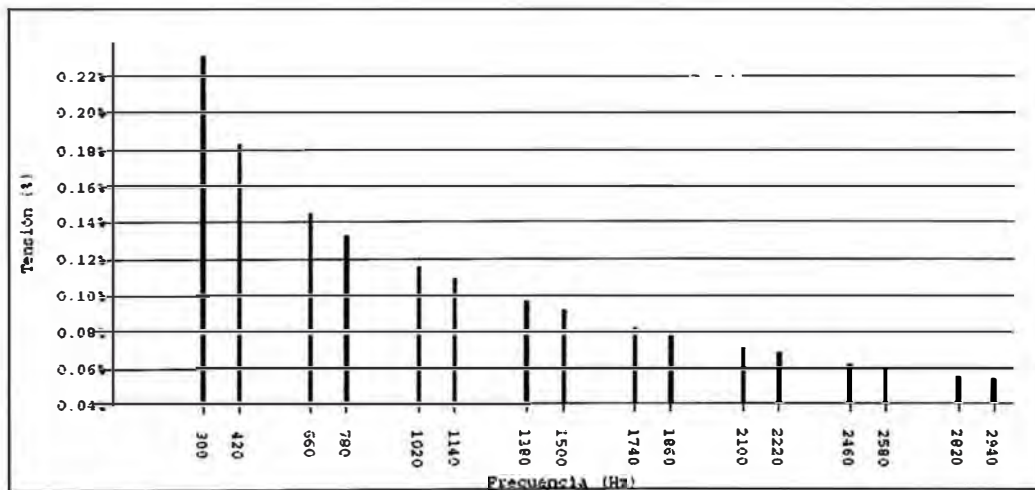


Figura 5.19 Espectro de tensiones armónicas en barra B2

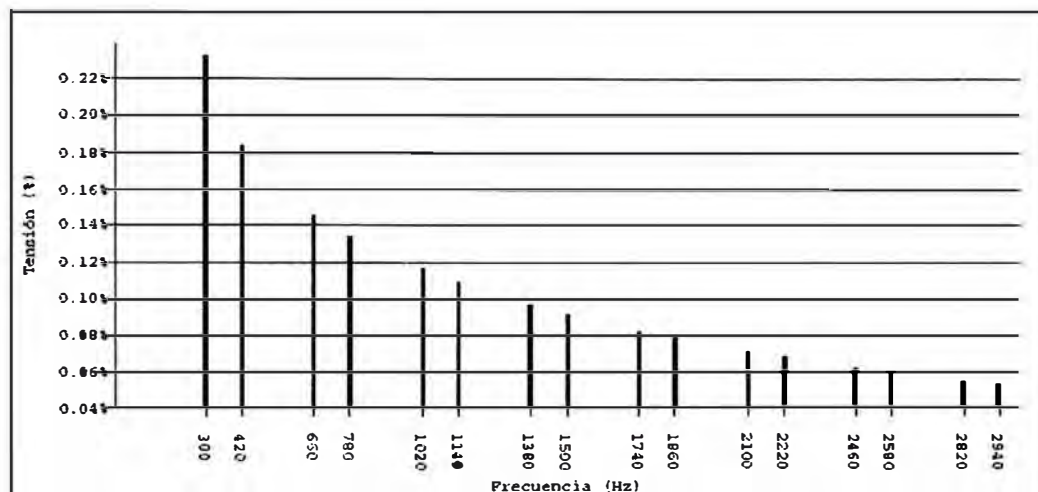


Figura 5.20 Espectro de tensiones armónicas en barra B3

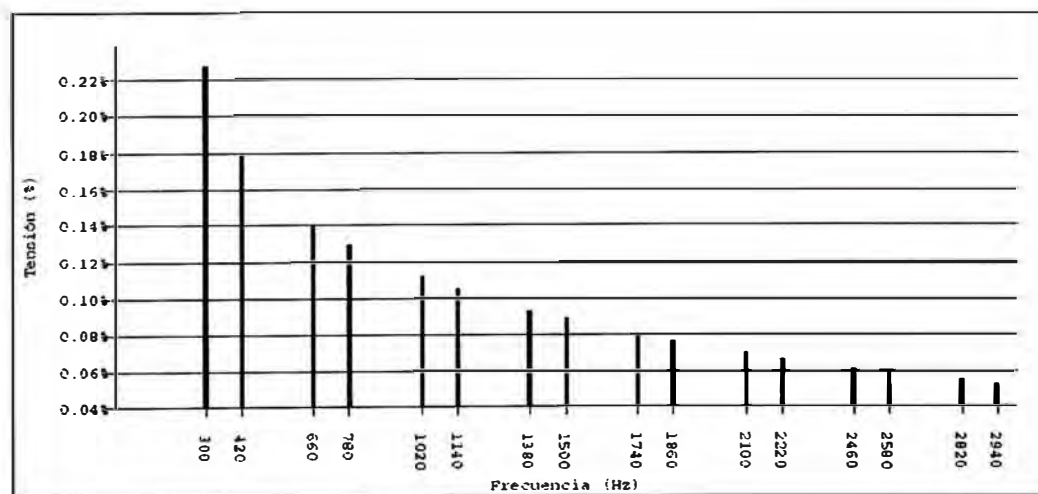


Figura 5.21 Espectro de tensiones armónicas en barra B4

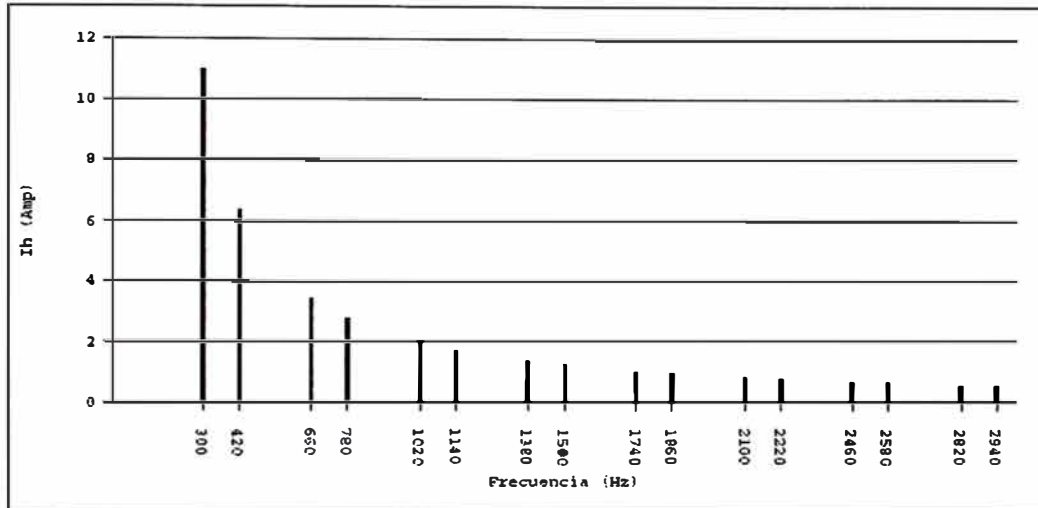


Figura 5.22 Espectro de corrientes armónicas en carga M2

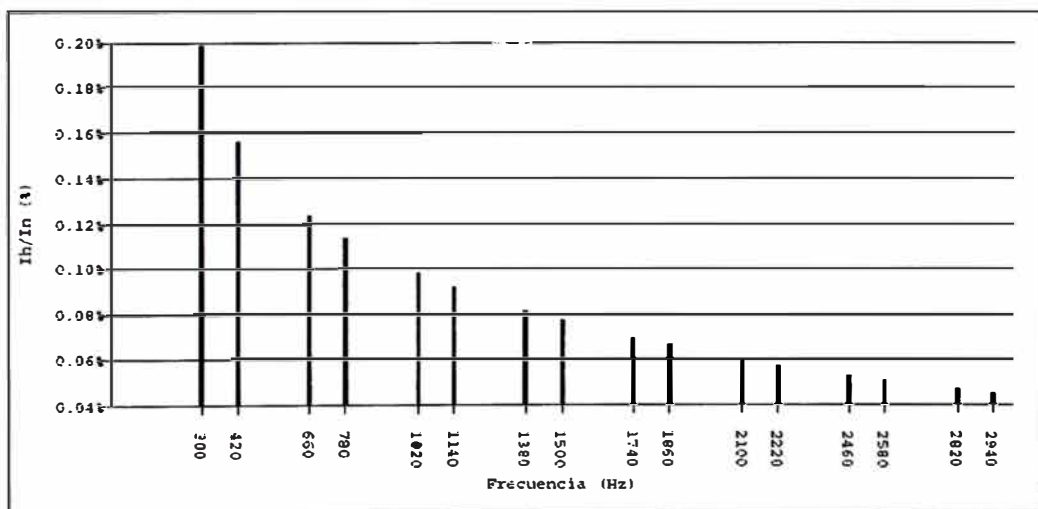


Figura 5.23 Espectro de corrientes armónicas en carga B2

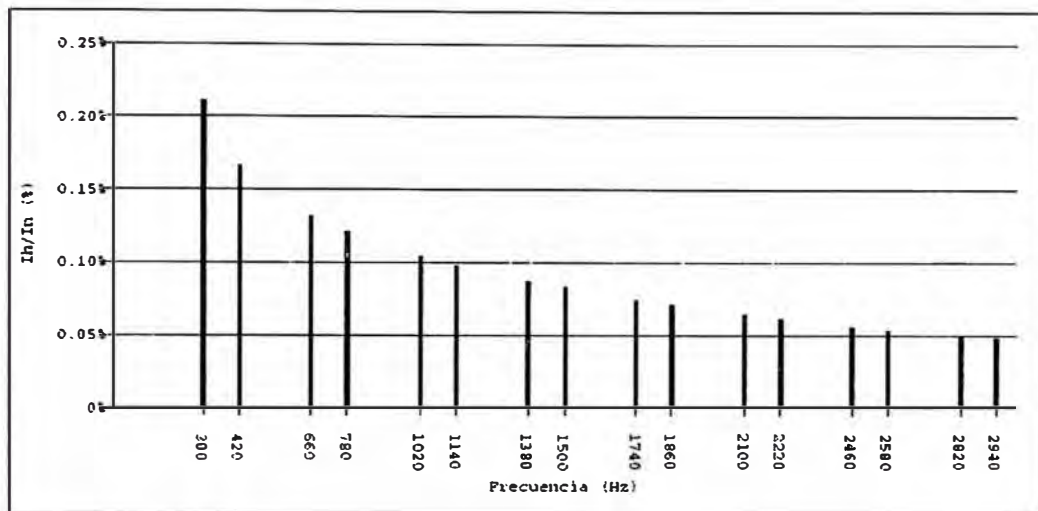


Figura 5.24 Espectro de corrientes armónicas en carga B3

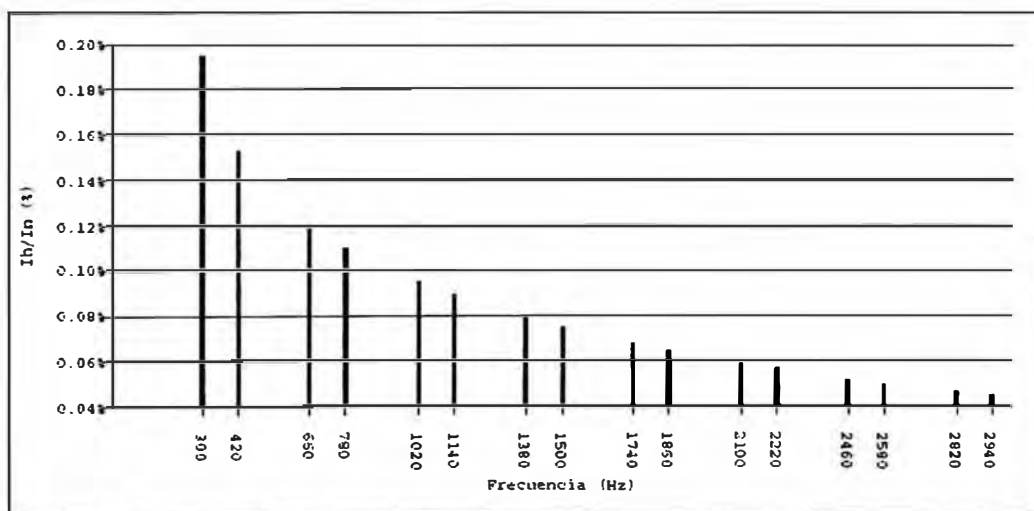


Figura 5.25 Espectro de corrientes armónicas en carga B4

h) Sensibilidad del THD (%) versus la variación de la carga

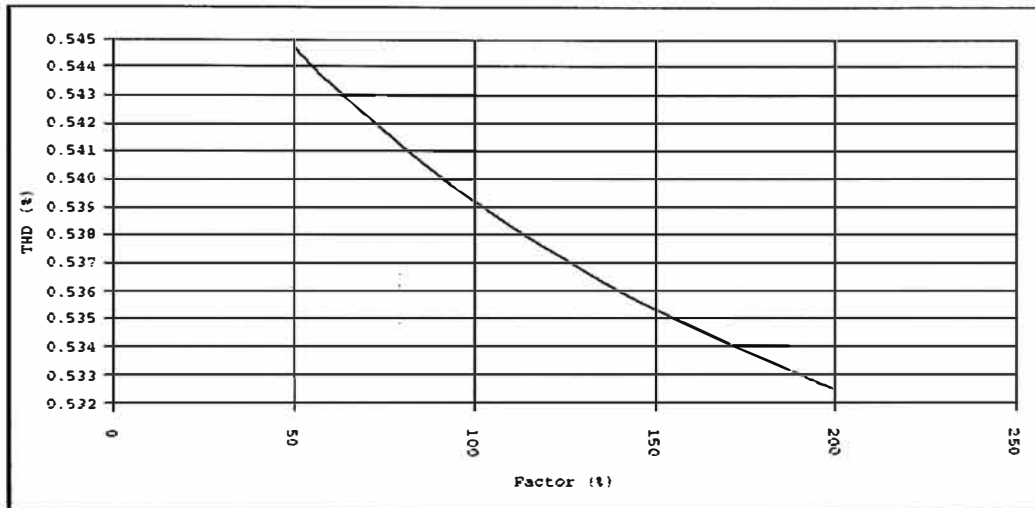


Figura 5.26 Sensibilidad en barra M1

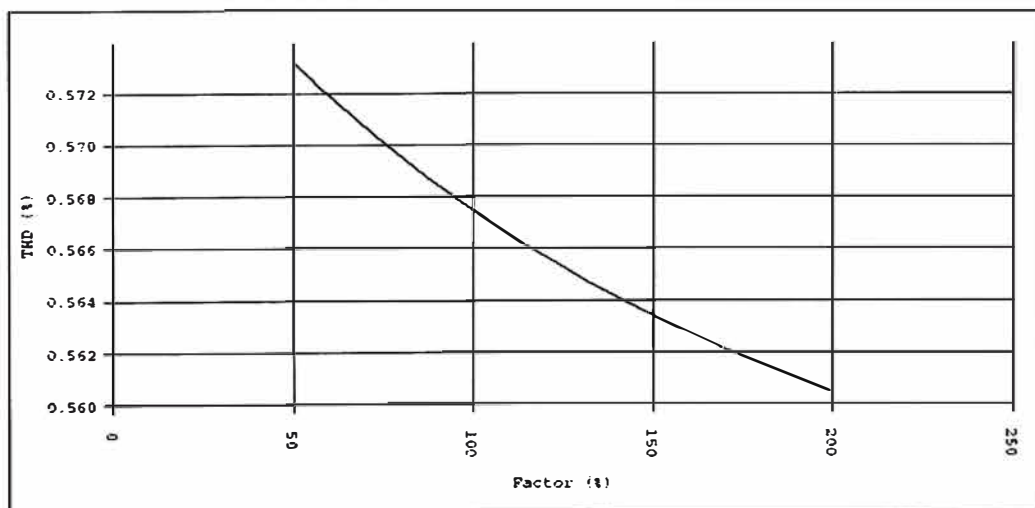


Figura 5.27 Sensibilidad en barra M2

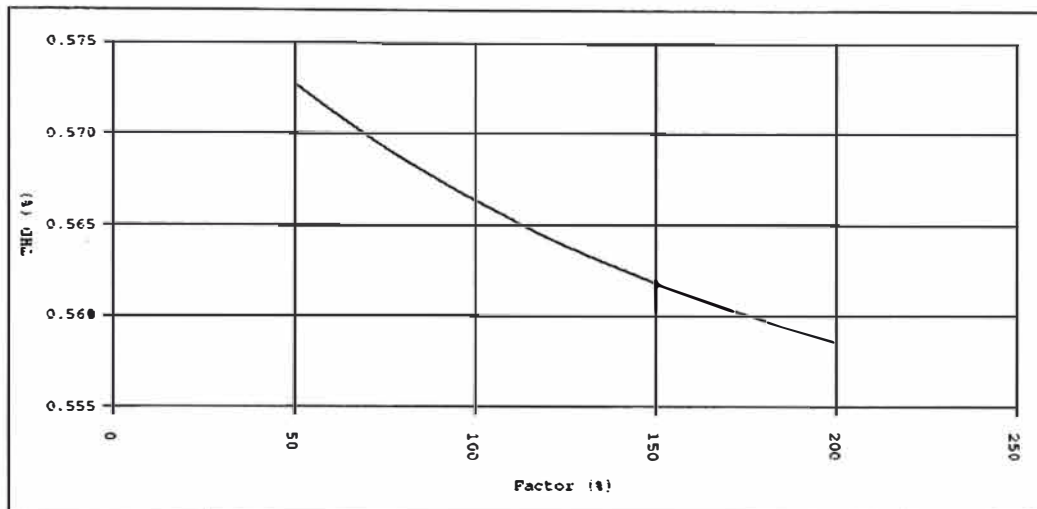


Figura 5.28 Sensibilidad en barra M3

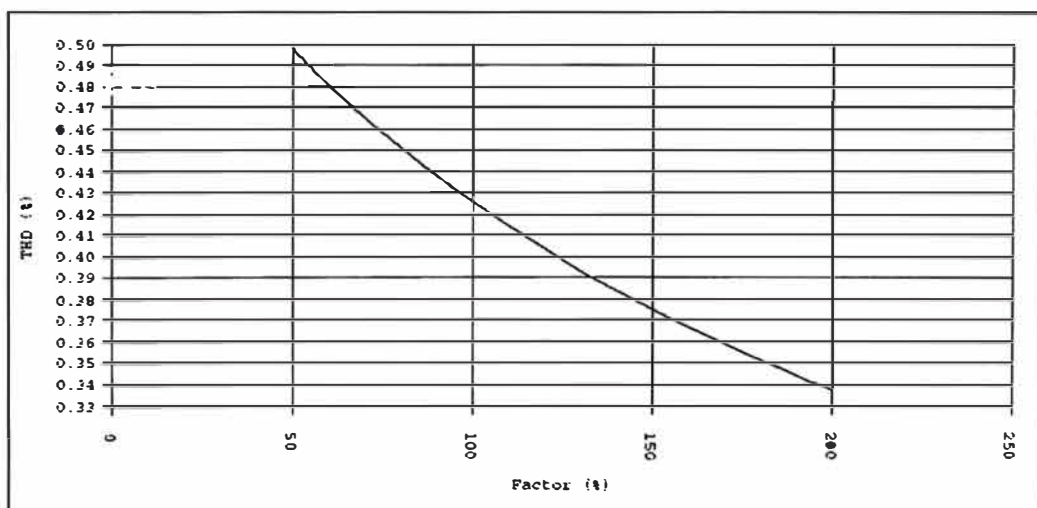


Figura 5.29 Sensibilidad en barra M4

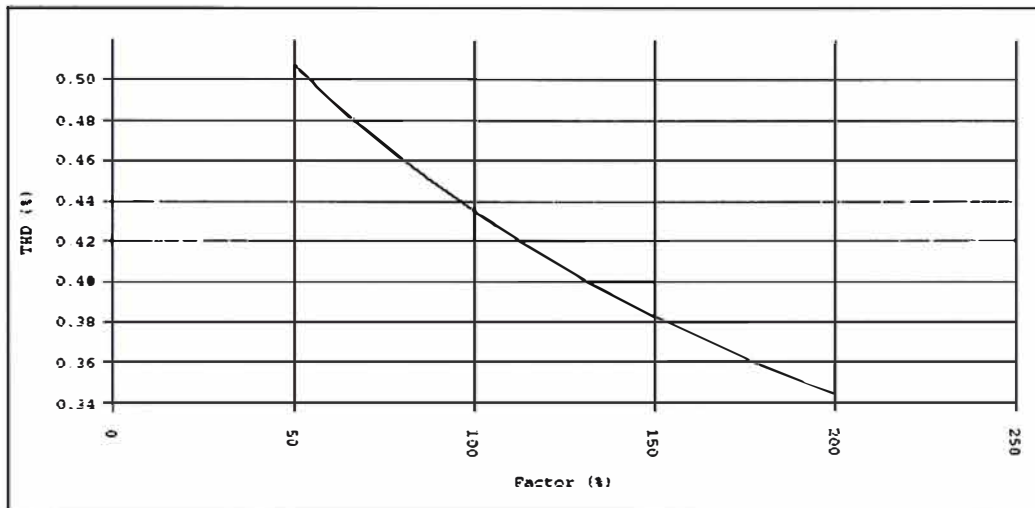


Figura 5.30 Sensibilidad en barra B2

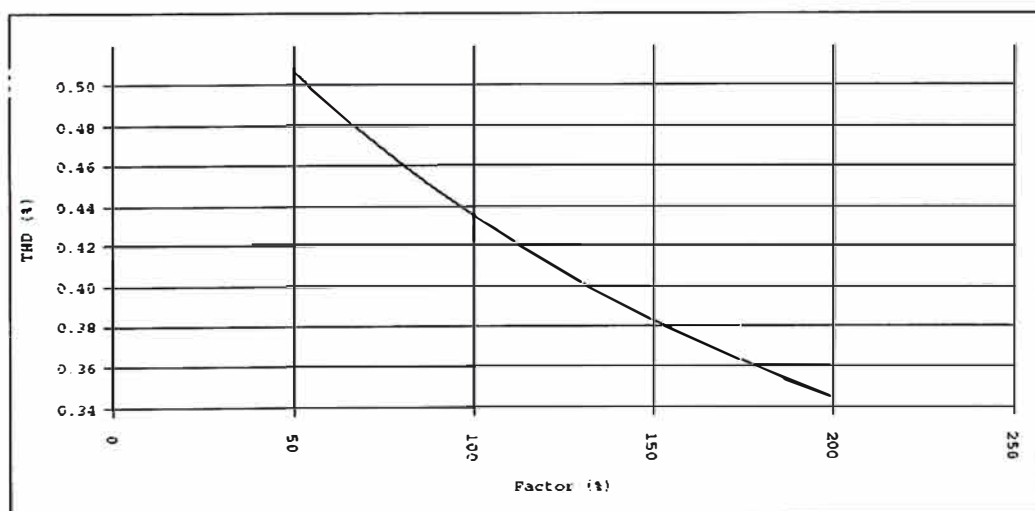


Figura 5.31 Sensibilidad en barra B3

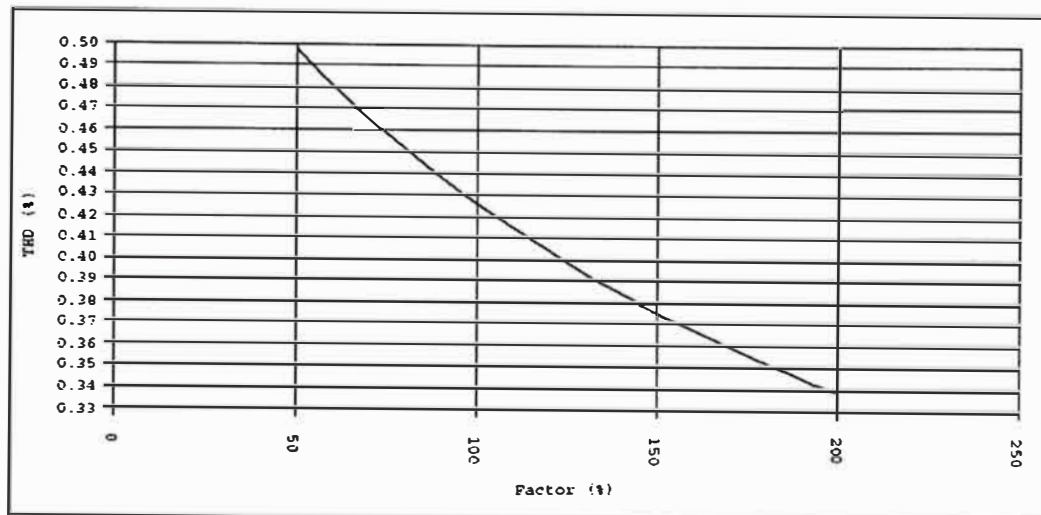


Figura 5.32 Sensibilidad en barra en B4

5.4.2 Carga perturbadora sin banco de condensadores

a) Matriz de impedancias

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 60.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 40.182201

2 0.241975

3 0.255483

4 0.300466

5 0.363783

6 0.259073

7 0.306179

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.241975
2 0.240080
3 0.239890
4 0.239440
5 0.239028
6 0.243261
7 0.243992

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.255483
2 0.239890
3 0.253281
4 0.252806
5 0.252372
6 0.256840
7 0.257613

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.300466
2 0.239440
3 0.252806
4 0.297318
5 0.296807
6 0.256359
7 0.302971

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.363783
2 0.239028
3 0.252372
4 0.296807
5 0.359353
6 0.255918
7 0.302450

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.259073
2 0.243261

3	0.256840
4	0.256359
5	0.255918
6	11.781978
7	0.261233

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.306179
2	0.243992
3	0.257613
4	0.302971
5	0.302450
6	0.261233
7	7.332572

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 120.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	79.160629
2	0.476192
3	0.501757
4	0.579488
5	0.681889
6	0.503563
7	0.584709

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.476192
2	0.480031
3	0.479528
4	0.478344
5	0.477267
6	0.481254
7	0.482653

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.501757
2	0.479528
3	0.505273
4	0.504025
5	0.502891
6	0.507092
7	0.508566

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.579488
2	0.478344
3	0.504025
4	0.582106
5	0.580797
6	0.505839
7	0.587351

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.681889
2	0.477267
3	0.502891
4	0.580797
5	0.683429
6	0.504701
7	0.586030

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.503563
2	0.481254
3	0.507092
4	0.505839
5	0.504701
6	23.315367
7	0.510397

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.584709
2	0.482653
3	0.508566

4 0.587351
 5 0.586030
 6 0.510397
 7 14.503901

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)
 Frecuencia: 180.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 116.931786
 2 0.702533
 3 0.739749
 4 0.849068
 5 0.988829
 6 0.734072
 7 0.847465

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.702533
 2 0.719718
 3 0.718820
 4 0.716707
 5 0.714801
 6 0.713304
 7 0.715354

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.739749
 2 0.718820
 3 0.756900
 4 0.754675
 5 0.752668
 6 0.751091
 7 0.753250

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.849068

2	0.716707
3	0.754675
4	0.866199
5	0.863895
6	0.748883
7	0.864564

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.988829
2	0.714801
3	0.752668
4	0.863895
5	1.006097
6	0.746892
7	0.862265

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.734072
2	0.713304
3	0.751091
4	0.748883
5	0.746892
6	34.572971
7	0.747470

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.847465
2	0.715354
3	0.753250
4	0.864564
5	0.862265
6	0.747470
7	21.504345

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 240.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 153.471710
2 0.920822
3 0.969274
4 1.109056
5 1.284792
6 0.950206
7 1.093993

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.920822
2 0.959019
3 0.957654
4 0.954449
5 0.951580
6 0.938814
7 0.941485

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 0.969274
2 0.957654
3 1.008044
4 1.004670
5 1.001651
6 0.988213
7 0.991025

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 1.109056
2 0.954449
3 1.004670
4 1.149557
5 1.146102
6 0.984906
7 1.133944

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
1 1.284792
2 0.951580

3	1.001651
4	1.146102
5	1.327708
6	0.981945
7	1.130535

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.950206
2	0.938814
3	0.988213
4	0.984906
5	0.981945
6	45.529377
7	0.971529

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.093993
2	0.941485
3	0.991025
4	1.133944
5	1.130535
6	0.971528
7	28.316984

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 300.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	188.765991
2	1.130943
3	1.190210
4	1.359326
5	1.569710
6	1.151764
7	1.324017

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.130943
2	1.197831
3	1.195931
4	1.191486
5	1.187539
6	1.157301
7	1.160537

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.190210
2	1.195931
3	1.258603
4	1.253925
5	1.249772
6	1.217948
7	1.221355

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.359326
2	1.191486
3	1.253925
4	1.432094
5	1.427351
6	1.213421
7	1.394896

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.569710
2	1.187539
3	1.249771
4	1.427351
5	1.648264
6	1.209402
7	1.390276

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.151764
2	1.157301
3	1.217948

4	1.213422
5	1.209402
6	56.163734
7	1.181903

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	1.324017
2	1.160537
3	1.221355
4	1.394896
5	1.390275
6	1.181903
7	34.927402

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)
Frecuencia: 360.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	222.809799
2	1.332842
3	1.402498
4	1.599814
5	1.843539
6	1.338731
7	1.537473

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	1.332842
2	1.436057
3	1.433562
4	1.427739
5	1.422611
6	1.368382
7	1.372103

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO

1	1.402498
2	1.433562
3	1.508482
4	1.502355
5	1.496959
6	1.439896
7	1.443811

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.599814
2	1.427739
3	1.502355
4	1.713720
5	1.707565
6	1.434047
7	1.646940

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.843539
2	1.422611
3	1.496959
4	1.707565
5	1.967705
6	1.428897
7	1.641025

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.338731
2	1.368382
3	1.439896
4	1.434047
5	1.428897
6	66.459724
7	1.378166

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.537473
2	1.372103
3	1.443811

4 1.646940
 5 1.641025
 6 1.378165
 7 41.324062

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 420.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 255.607178
 2 1.526530
 3 1.606154
 4 1.830540
 5 2.106309
 6 1.511264
 7 1.734497

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.526530
 2 1.673623
 3 1.670472
 4 1.663141
 5 1.656739
 6 1.571782
 7 1.575881

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.606154
 2 1.670472
 3 1.757603
 4 1.749890
 5 1.743154
 6 1.653766
 7 1.658079

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.830540

2	1.663141
3	1.749890
4	1.994357
5	1.986680
6	1.646508
7	1.889719

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.106309
2	1.656739
3	1.743154
4	1.986680
5	2.285971
6	1.640170
7	1.882445

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.511264
2	1.571782
3	1.653766
4	1.646508
5	1.640170
6	76.405411
7	1.560121

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.734497
2	1.575881
3	1.658079
4	1.889719
5	1.882445
6	1.560121
7	47.498371

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 480.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i)	MÓDULO
1	287.169952
2	1.712083
3	1.801254
4	2.051590
5	2.358121
6	1.669669
7	1.915404

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i)	MÓDULO
1	1.712083
2	1.910469
3	1.906605
4	1.897642
5	1.889879
6	1.767324
7	1.771675

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i)	MÓDULO
1	1.801254
2	1.906605
3	2.005908
4	1.996477
5	1.988310
6	1.859372
7	1.863949

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i)	MÓDULO
1	2.051590
2	1.897642
3	1.996477
4	2.273945
5	2.264642
6	1.850631
7	2.122998

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i)	MÓDULO
1	2.358121
2	1.889879

3	1.988310
4	2.264642
5	2.603006
6	1.843060
7	2.114313

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.669669
2	1.767324
3	1.859372
4	1.850631
5	1.843060
6	85.992889
7	1.727784

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.915403
2	1.771675
3	1.863949
4	2.122998
5	2.114313
6	1.727784
7	53.444519

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 540.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	317.516449
2	1.889616
3	1.987921
4	2.263102
5	2.599133
6	1.814365
7	2.080641

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.889616
2	2.146539
3	2.141907
4	2.131193
5	2.121987
6	1.954907
7	1.959367

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.987921
2	2.141907
3	2.253337
4	2.242065
5	2.232381
6	2.056609
7	2.061300

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.263102
2	2.131193
3	2.242065
4	2.552427
5	2.541402
6	2.046321
7	2.346639

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.599133
2	2.121987
3	2.232381
4	2.541402
5	2.918756
6	2.037483
7	2.336503

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.814365
2	1.954907
3	2.056609

4	2.046321
5	2.037483
6	95.217979
7	1.881338

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.080641
2	1.959367
3	2.061300
4	2.346639
5	2.336503
6	1.881338
7	59.159225

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 600.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	346.670532
2	2.059294
3	2.166327
4	2.465273
5	2.829568
6	1.945873
7	2.230785

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.059293
2	2.381797
3	2.376343
4	2.363763
5	2.353040
6	2.134516
7	2.138930

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.166328
---	----------

2	2.376343
3	2.499856
4	2.486623
5	2.475343
6	2.245461
7	2.250103

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.465273
2	2.363764
3	2.486623
4	2.829768
5	2.816931
6	2.233573
7	2.560610

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.829568
2	2.353041
3	2.475343
4	2.816931
5	3.233191
6	2.223441
7	2.548995

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.945873
2	2.134516
3	2.245460
4	2.233573
5	2.223441
6	104.079712
7	2.021123

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.230785
2	2.138930
3	2.250103
4	2.560610

5 2.548995
 6 2.021123
 7 64.641502

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)
 Frecuencia: 660.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 374.660461
 2 2.221311
 3 2.336680
 4 2.658334
 5 3.049685
 6 2.064784
 7 2.366492

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.221311
 2 2.616213
 3 2.609886
 4 2.595331
 5 2.583019
 6 2.306199
 7 2.310406

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.336680
 2 2.609886
 3 2.745436
 4 2.730126
 5 2.717174
 6 2.425977
 7 2.430402

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.658334
 2 2.595331

3	2.730125
4	3.105939
5	3.091205
6	2.412448
7	2.764958

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.049685
2	2.583019
3	2.717174
4	3.091205
5	3.546282
6	2.401004
7	2.751841

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.064784
2	2.306199
3	2.425977
4	2.412448
5	2.401003
6	112.580101
7	2.147600

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.366493
2	2.310406
3	2.430402
4	2.764958
5	2.751841
6	2.147600
7	69.892365

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 720.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	401.518097
2	2.375896
3	2.499217
4	2.842556
5	3.259786
6	2.171743
7	2.488491

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.375896
2	2.849769
3	2.842519
4	2.825885
5	2.811916
6	2.470062
7	2.473897

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.499217
2	2.842519
3	2.990059
4	2.972562
5	2.957868
6	2.598270
7	2.602304

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.842556
2	2.825885
3	2.972562
4	3.380928
5	3.364215
6	2.583065
7	2.959805

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.259786
2	2.811916
3	2.957868

4	3.364216
5	3.858015
6	2.570297
7	2.945174

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.171743
2	2.470062
3	2.598270
4	2.583065
5	2.570296
6	120.723495
7	2.261322

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.488492
2	2.473897
3	2.602304
4	2.959805
5	2.945174
6	2.261323
7	74.914536

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 780.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	427.277893
2	2.523305
3	2.654207
4	3.018238
5	3.460208
6	2.267438
7	2.597558

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.523305
---	----------

2	3.082469
3	3.074249
4	3.055434
5	3.039743
6	2.626271
7	2.629570

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.654207
2	3.074249
3	3.233732
4	3.213941
5	3.197437
6	2.762515
7	2.765985

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.018238
2	3.055434
3	3.213941
4	3.654741
5	3.635972
6	2.745608
7	3.145345

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.460208
2	3.039743
3	3.197437
4	3.635972
5	4.168399
6	2.731508
7	3.129193

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.267437
2	2.626271
3	2.762515
4	2.745608

5 2.731508
 6 128.516434
 7 2.362927

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.597558
 2 2.629570
 3 2.765984
 4 3.145345
 5 3.129193
 6 2.362927
 7 79.712204

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 840.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 451.976410
 2 2.663772
 3 2.801899
 4 3.185665
 5 3.651273
 6 2.352540
 7 2.694461

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.663772
 2 3.314278
 3 3.305042
 4 3.283949
 5 3.266475
 6 2.774991
 7 2.777591

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.801899
 2 3.305042

3	3.476421
4	3.454235
5	3.435854
6	2.918885
7	2.921619

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.185665
2	3.283949
3	3.454235
4	3.927349
5	3.906451
6	2.900257
7	3.321783

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.651273
2	3.266475
3	3.435855
4	3.906451
5	4.477407
6	2.884824
7	3.304108

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.352540
2	2.774991
3	2.918885
4	2.900257
5	2.884824
6	135.966995
7	2.453060

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.694461
2	2.777591
3	2.921619
4	3.321783
5	3.304108

6 2.453060
7 84.290672

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 900.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 475.651306
2 2.797588
3 2.942596
4 3.345176
5 3.833358
6 2.427766
7 2.780015

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.797588
2 3.545226
3 3.534929
4 3.511465
5 3.492147
6 2.916466
7 2.918211

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.942596
2 3.534930
3 3.718156
4 3.693476
5 3.673157
6 3.067637
7 3.069472

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.345176
2 3.511465
3 3.693476

4	4.198784
5	4.175685
6	3.047274
7	3.489409

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.833358
2	3.492147
3	3.673157
4	4.175685
5	4.785069
6	3.030510
7	3.470212

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.427767
2	2.916466
3	3.067636
4	3.047274
5	3.030510
6	143.084732
7	2.532444

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.780015
2	2.918211
3	3.069471
4	3.489409
5	3.470212
6	2.532444
7	88.656258

b) Tensiones armónicas en barras

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
 * TENSIONES ARMÓNICAS (%) *


```
*****
```

Frec. (Hz):	120	180	240	300	360
B4	0.044	0.079	0.028	0.325	0.022
M1	0.031	0.057	0.021	0.303	0.017
M2	0.032	0.060	0.022	0.319	0.018
M3	0.037	0.069	0.025	0.329	0.020
M4	0.044	0.081	0.029	0.341	0.024
B2	0.032	0.060	0.022	0.308	0.017
B3	0.038	0.069	0.025	0.320	0.020

```
*****
```

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *

* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

```
*****
```

Frec. (Hz):	420	480	660	780	1020
B4	0.231	0.019	0.138	0.127	0.109
M1	0.227	0.015	0.155	0.147	0.136
M2	0.239	0.016	0.163	0.154	0.143
M3	0.244	0.018	0.162	0.153	0.142
M4	0.251	0.021	0.161	0.153	0.141
B2	0.225	0.015	0.144	0.132	0.114
B3	0.231	0.017	0.144	0.132	0.114

```
*****
```

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *

* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

```
*****
```

Frec. (Hz):	1140	1380	1500	1740	1860
B4	0.102	0.090	0.085	0.077	0.073
M1	0.132	0.125	0.123	0.118	0.116
M2	0.139	0.132	0.129	0.124	0.122
M3	0.138	0.131	0.128	0.123	0.121
M4	0.137	0.130	0.127	0.122	0.120
B2	0.107	0.094	0.089	0.080	0.076
B3	0.107	0.094	0.089	0.079	0.075

```
*****
```

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *

* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

```
*****
```

Frec. (Hz):	2100	2220	2460	2580	2820
-------------	------	------	------	------	------

B4	0.066	0.063	0.058	0.055	0.051
M1	0.112	0.111	0.107	0.106	0.103
M2	0.118	0.116	0.113	0.112	0.109
M3	0.117	0.115	0.112	0.110	0.107
M4	0.116	0.114	0.111	0.109	0.106
B2	0.068	0.065	0.060	0.057	0.052
B3	0.068	0.065	0.059	0.056	0.052

 * RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
 * TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 2940

B4	0.049
M1	0.102
M2	0.107
M3	0.106
M4	0.105
B2	0.050
B3	0.050

c) THD de tensión (h = 2 hasta h = 40)

 * RESULTADOS DE THD EN BARRAS *

BARRA	THD (%)	THD NTCSE (%)
B4	0.50	8.00
M1	0.55	8.00
M2	0.58	8.00
M3	0.59	8.00
M4	0.60	8.00
B2	0.48	8.00
B3	0.49	8.00

d) Flujo de armónicos (amperios)

```
*****
* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS)      *
* ENVIO     RECEPCIÓN                  *
*****
```

ARMÓNICO		2	3	4	5	6
=====						
B4	M4	0.1	0.2	0.1	0.7	0.0
	Carga	0.1	0.2	0.1	0.7	0.0
M1	Generador	3.7	4.6	1.3	14.5	0.7
	M2	3.7	4.6	1.3	14.5	0.7
M2	M1	3.7	4.6	1.3	14.5	0.7
	M3	3.7	4.6	1.3	3.6	0.7
	Rectificador	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0
	B2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
M3	M4	3.7	4.6	1.3	3.6	0.7
	M2	3.7	4.6	1.3	3.6	0.7
	B3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
M4	M3	3.7	4.6	1.3	3.6	0.7
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Carga	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0
	Fuente	3.7	4.6	1.3	3.7	0.7
B2	Carga	0.3	0.5	0.2	2.4	0.1
	M2	0.3	0.5	0.2	2.4	0.1
B3	M3	0.5	0.9	0.3	4.2	0.3
	Carga	0.5	0.9	0.3	4.2	0.3
=====						

```
*****
* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS)      *
* ENVIO     RECEPCIÓN                  *
*****
```

ARMÓNICO		7	8	11	13	17
=====						

B4						
	M4	0.5	0.0	0.3	0.3	0.2
	Carga	0.5	0.0	0.3	0.3	0.2
M1						
	Generador	7.8	0.5	3.4	2.7	1.9
	M2	7.8	0.5	3.4	2.7	1.9
M2						
	M1	7.8	0.5	3.4	2.7	1.9
	M3	1.5	0.5	0.2	0.2	0.2
	Rectificador	6.4	0.0	3.4	2.8	2.0
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3						
	M4	1.5	0.5	0.2	0.2	0.1
	M2	1.5	0.5	0.2	0.2	0.2
	B3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
M4						
	M3	1.5	0.5	0.2	0.2	0.1
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Carga	0.2	0.0	0.2	0.2	0.1
	Fuente	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0
B2						
	Carga	1.8	0.1	1.1	1.0	0.9
	M2	1.8	0.1	1.1	1.0	0.9
B3						
	M3	3.0	0.2	1.9	1.7	1.5
	Carga	3.0	0.2	1.9	1.7	1.5

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO						
		19	23	25	29	31
B4						
	M4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Carga	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
M1						
	Generador	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9
	M2	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9
M2						
	M1	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9
	M3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	Rectificador	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

M3	-----					
M4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
M2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	
B3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
M4	-----					
M3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Fuente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
B2	-----					
Carga	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	
M2	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	
B3	-----					
M3	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0	
Carga	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0	
=====						

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

=====						
ARMÓNICO	35	37	41	43	47	49
=====						
B4	-----					
M4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
M1	-----					
Generador	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
M2	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
M2	-----					
M1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
M3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Rectificador	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	-----					
M4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
M2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M4	-----					
M3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Fuente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2	-----					
Carga	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4

B3	M2	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
	M3	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
	Carga	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7

e) Flujo de armónicos (potencia)

* FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *

* ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		2	3	4		
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	-0.000	0.019	0.000	0.045	0.000
	M2	0.000	-0.019	0.000	-0.045	0.000
M2	M1	0.001	0.020	0.002	0.048	0.000
	M3	-0.001	-0.020	-0.003	-0.048	-0.000
	Rectif.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	M4	-0.005	-0.023	-0.010	-0.054	-0.001
	M2	0.005	0.023	0.009	0.054	0.001
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	M3	0.009	0.026	0.017	0.061	0.002
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
	Fuente	-0.009	-0.026	-0.019	-0.062	-0.002
B2	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

=====

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		5		6		7
B4	M4	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	0.000	0.760	-0.000	0.002	0.000
	M2	-0.000	-0.760	0.000	-0.002	0.000
M2	M1	0.032	0.800	0.000	0.002	0.011
	M3	0.009	-0.198	-0.000	-0.002	0.008
	Rectif.	0.045	0.602	0.000	0.000	0.021
	B2	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002
M3	M4	-0.001	-0.206	-0.000	-0.002	0.005
	M2	-0.004	0.205	0.000	0.002	-0.007
	B3	0.005	0.001	0.000	0.000	0.003
M4	M3	0.008	0.214	0.001	0.003	-0.003
	B4	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.020	0.002	0.000	0.000	0.011
	Fuente	-0.029	-0.217	-0.001	-0.003	-0.008
B2	Carga	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002
	M2	-0.003	-0.000	-0.000	-0.000	-0.002
B3	M3	-0.005	-0.000	-0.000	-0.000	-0.003
	Carga	0.005	0.000	0.000	0.000	0.003

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		8		11		13
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1						

	Gener.	-0.000	0.001	-0.000	0.090	0.000	0.069
M2	M2	0.000	-0.001	0.000	-0.090	0.000	-0.069
	M1	0.000	0.001	0.003	0.095	0.002	0.072
	M3	-0.000	-0.001	0.006	0.001	0.005	0.001
	Rectif.	0.000	0.000	0.009	0.096	0.008	0.073
M3	B2	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
	M4	-0.000	-0.001	0.005	0.000	0.004	0.000
	M2	0.000	0.001	-0.006	-0.001	-0.005	-0.001
M4	B3	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
	M3	0.000	0.002	-0.005	-0.000	-0.004	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.000	0.000	0.004	0.000	0.004	0.000
B2	Fuente	-0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
B3	M2	-0.000	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000
	M3	-0.000	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000

* FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *

* ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO	17	19	23				
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	-0.000	0.045	-0.000	0.038	0.000	0.028
	M2	0.000	-0.045	0.000	-0.038	0.000	-0.028
M2	M1	0.001	0.048	0.001	0.040	0.001	0.030
	M3	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001
	Rectif.	0.006	0.048	0.005	0.041	0.004	0.031
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	M4	0.004	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000
	M2	-0.004	-0.001	-0.004	-0.001	-0.004	-0.001
	B3	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		35		37		41	
B4							
M4		-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Carga		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1							
Gener.		-0.000	0.015	0.000	0.014	0.000	0.012
M2		0.000	-0.015	0.000	-0.014	0.000	-0.012
M2							
M1		0.000	0.016	0.000	0.014	0.000	0.012
M3		0.003	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000
Rectif.		0.003	0.016	0.003	0.015	0.003	0.013
B2		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3							
M4		0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
M2		-0.003	-0.000	-0.003	-0.000	-0.002	-0.000
B3		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4							
M3		-0.002	-0.000	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000
B4		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Carga		0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
Fuente		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2							
Carga		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2		-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3							
M3		-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Carga		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		43		47		49	
B4							

	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
	Gener.	0.000	0.011	0.000	0.009	-0.000	0.009
M2	M2	0.000	-0.011	0.000	-0.009	0.000	-0.009

	M1	0.000	0.011	0.000	0.010	0.000	0.009
	M3	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
	Rectif.	0.003	0.012	0.002	0.010	0.002	0.010
M3	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	M4	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
	M2	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000
M4	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	M3	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
B2	Fuente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B3	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000

	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	=====						

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	2	3	4
EN ENLACES	: 0.009	0.017	0.001
EN CARGAS	: 0.000	0.001	0.000
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.009	0.019	0.002

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	5	6	7
EN ENLACES	: 0.044	0.001	0.014
EN CARGAS	: 0.029	0.000	0.015
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: 0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.073	0.001	0.029

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	8	11	13
EN ENLACES	: 0.000	0.003	0.002
EN CARGAS	: 0.000	0.006	0.005
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.000	0.009	0.008

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	17	19	23
EN ENLACES	: 0.001	0.001	0.001
EN CARGAS	: 0.005	0.004	0.004
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000

REACTORES	:	0.000	0.000	0.000
FILTROS	:	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:		0.006	0.005	0.004

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	25	29	31
EN ENLACES	: 0.001	0.001	0.000
EN CARGAS	: 0.003	0.003	0.003
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	-0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.004	0.004	0.003

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	35	37	41
EN ENLACES	: 0.000	0.000	0.000
EN CARGAS	: 0.003	0.003	0.002
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: -0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: 0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.003	0.003	0.003

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	43	47	49
----------	----	----	----

EN ENLACES	:	0.000	0.000	0.000
EN CARGAS	:	0.002	0.002	0.002
SISTEMAS EQUIV.	:	0.000	0.000	0.000
MOTORES	:	0.000	0.000	0.000
GENERADORES	:	0.000	0.000	-0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:		0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	:	0.000	0.000	0.000
REACTORES	:	0.000	0.000	0.000
FILTROS	:	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:		0.003	0.002	0.002

PÉRDIDAS TOTALES ARM. : 0.192 KW
PÉRDIDAS TOTALES FLUJO : 21.321 KW

f) Barrido de frecuencias en barras

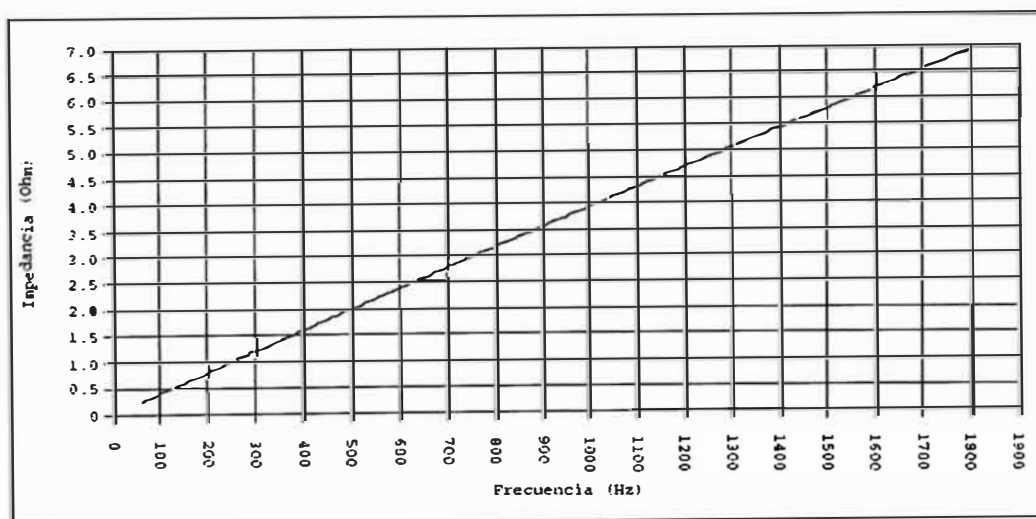


Figura 5.33 Barrido de frecuencias en barra M1

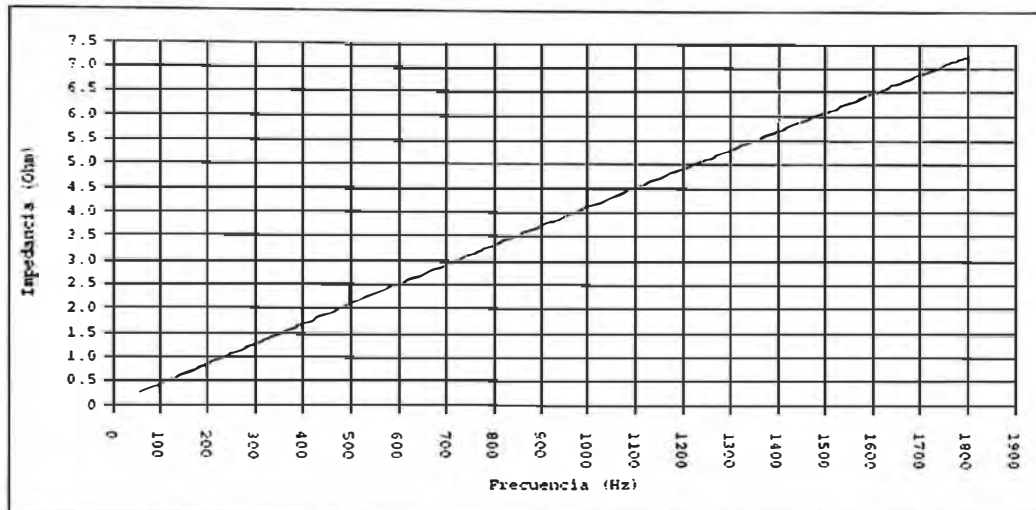


Figura 5.34 Barrido de frecuencias en barra M2

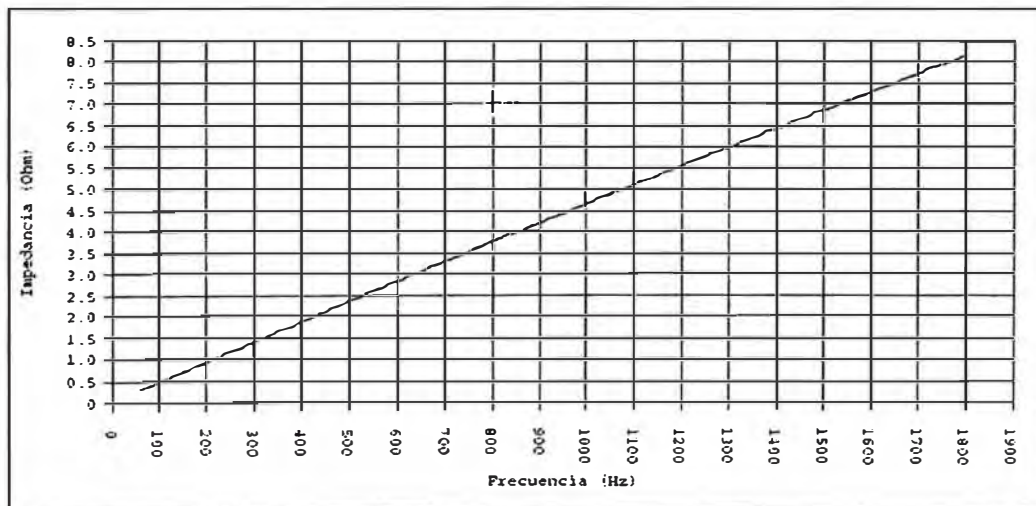


Figura 5.35 Barrido de frecuencias en barra M3

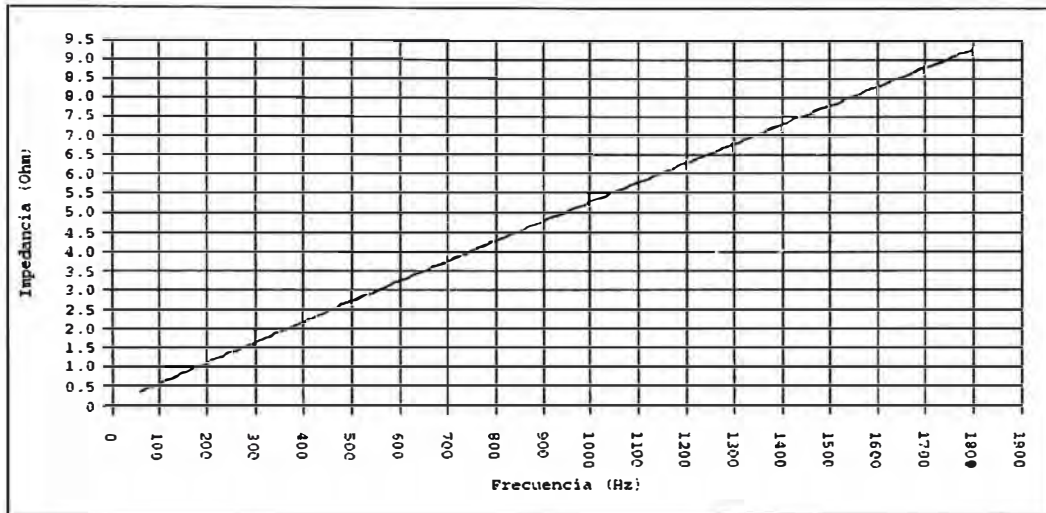


Figura 5.36 Barrido de frecuencias en barra M4

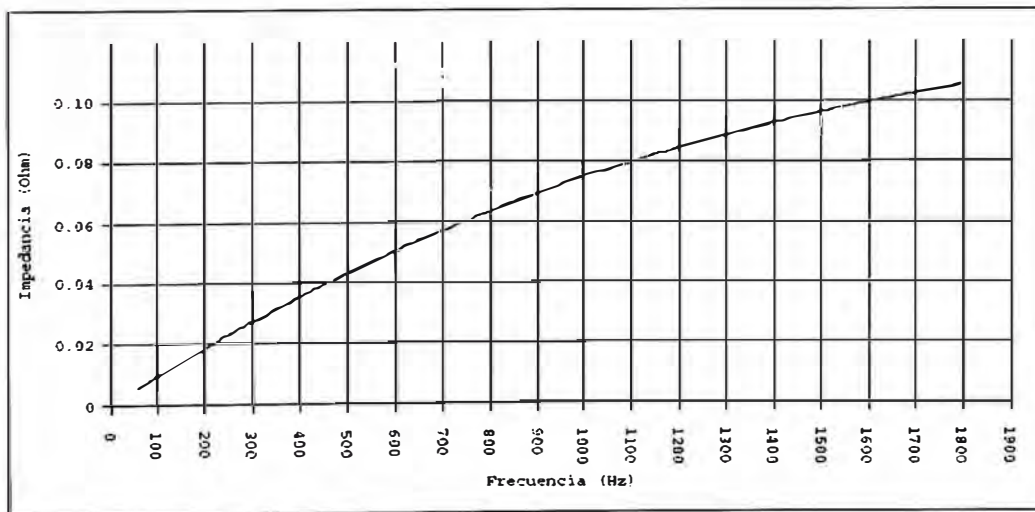


Figura 5.37 Barrido de frecuencias en barra B2

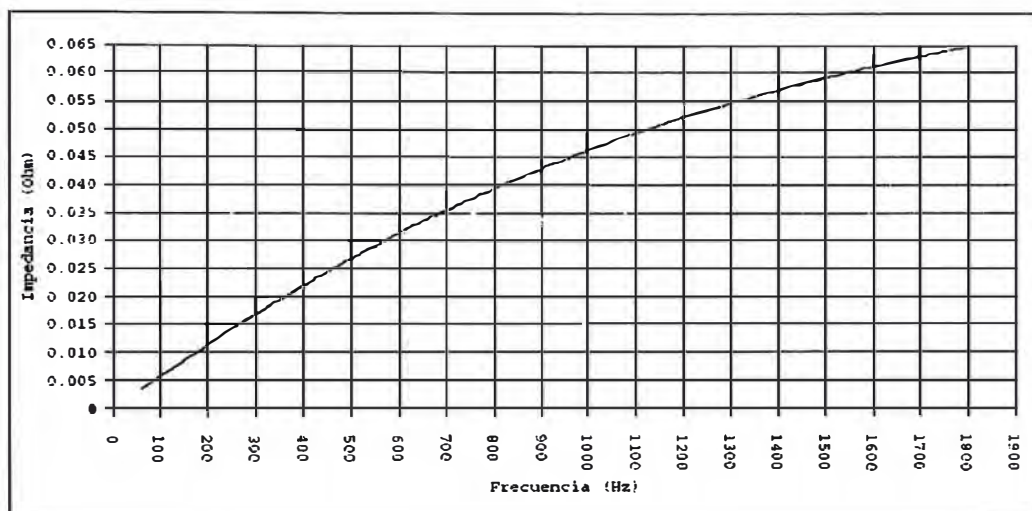


Figura 5.38 Barrido de frecuencias en barra B3

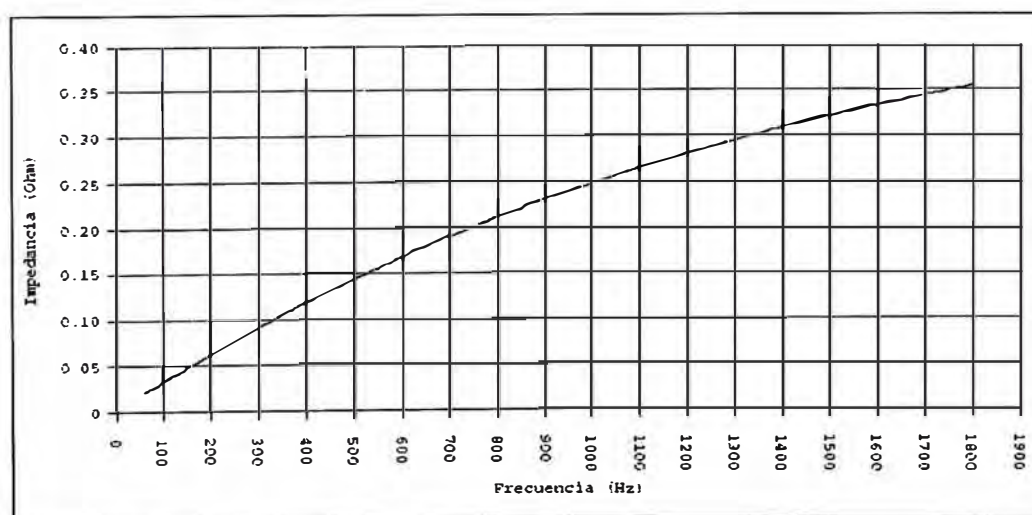


Figura 5.39 Barrido de frecuencias en barra B4

e) Espectros armónicos en barras y cargas

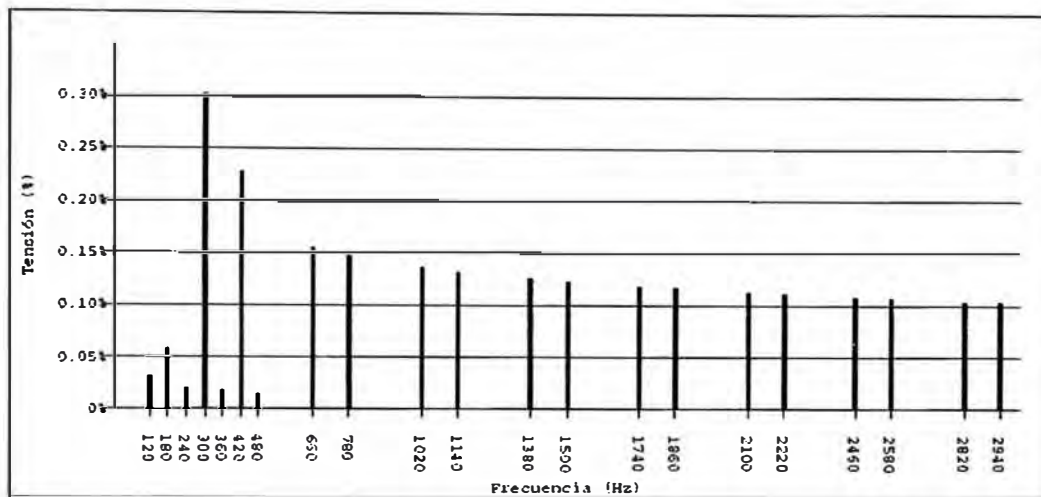


Figura 5.40 Espectro de tensiones armónicas en barra M1

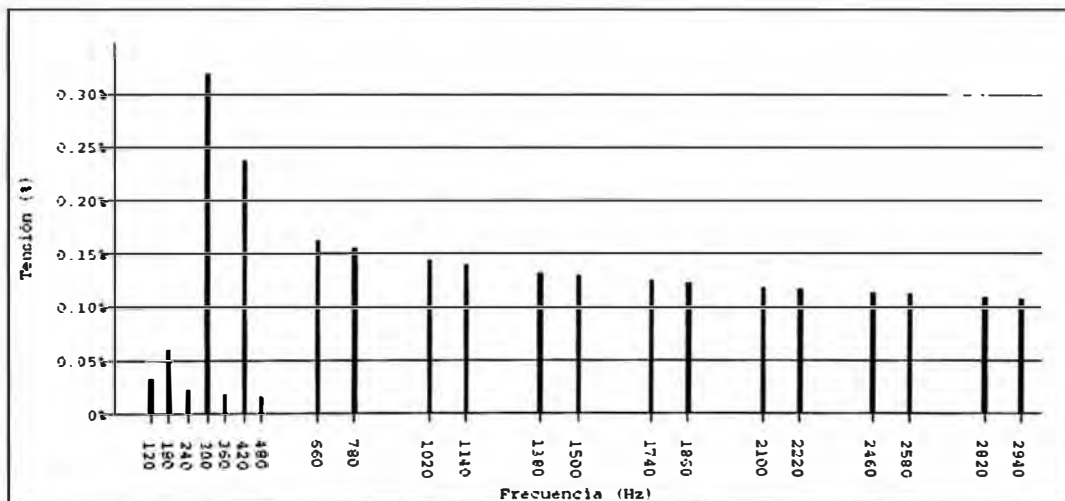


Figura 5.41 Espectro de tensiones armónicas en barra M2

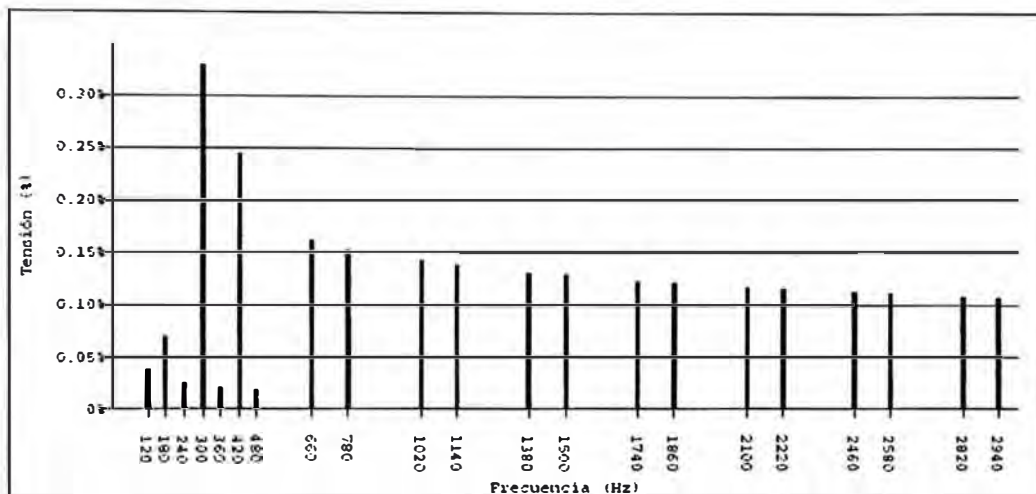


Figura 5.42 Espectro de tensiones armónicas en barra M3

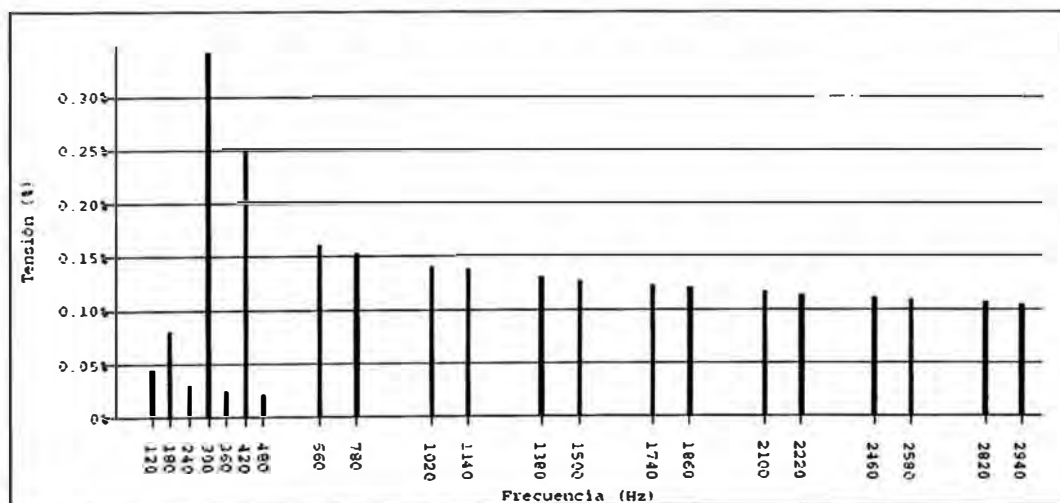


Figura 5.43 Espectro de tensiones armónicas en barra M4

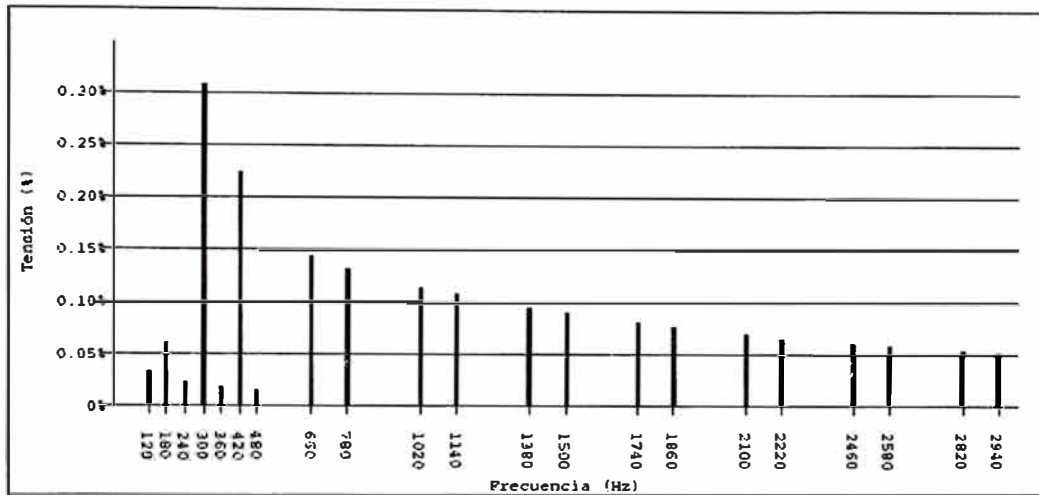


Figura 5.44 Espectro de tensiones armónicas en barra B2

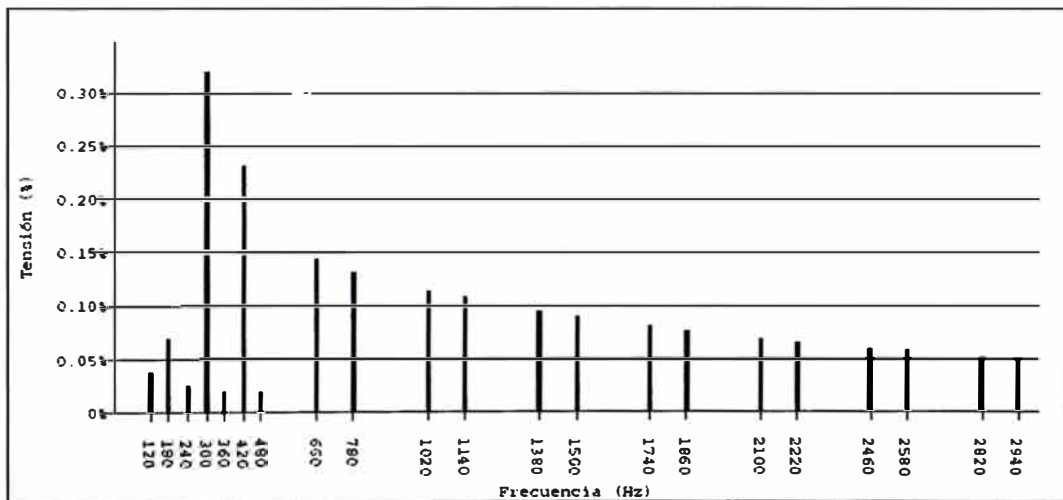


Figura 5.45 Espectro de tensiones armónicas en barra B3

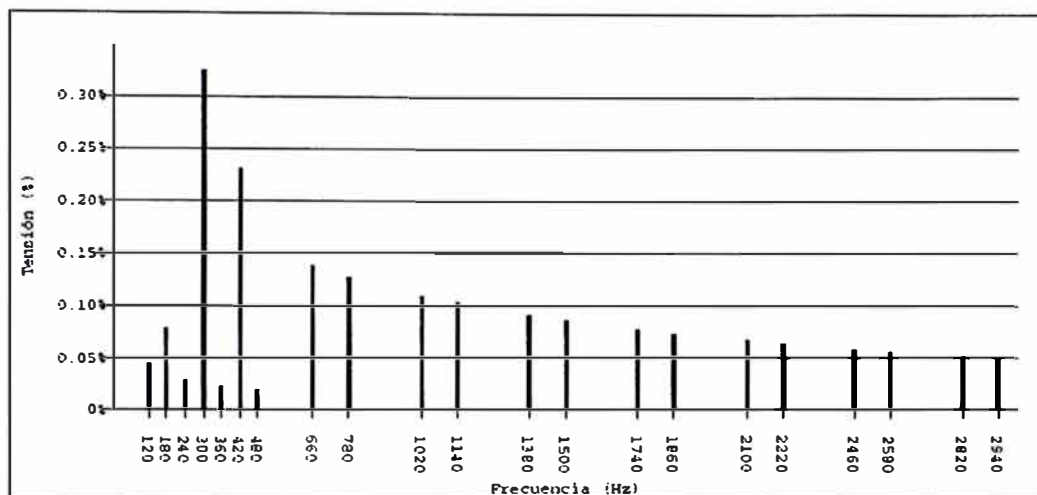


Figura 5.46 Espectro de tensiones armónicas en barra B4

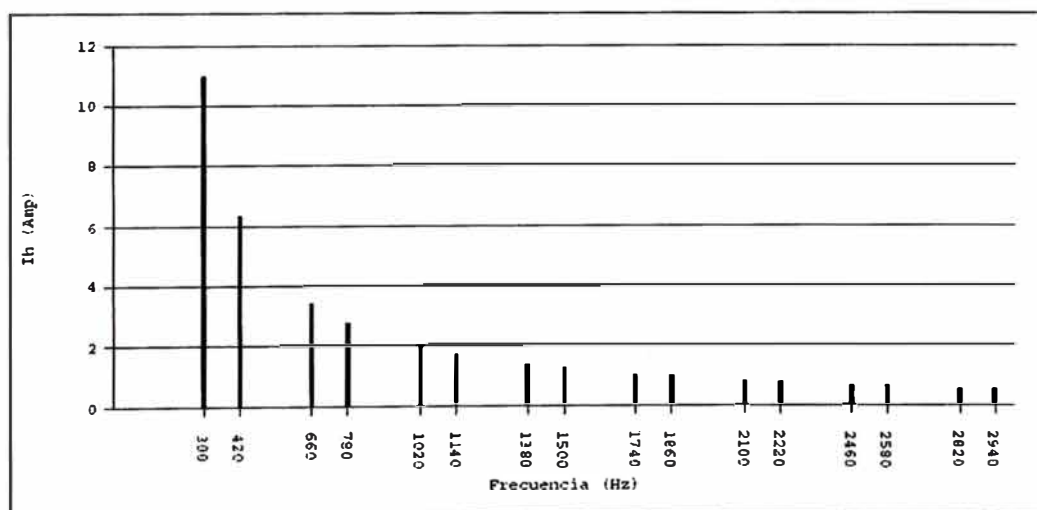


Figura 5.47 Espectro de corrientes armónicas en carga M2

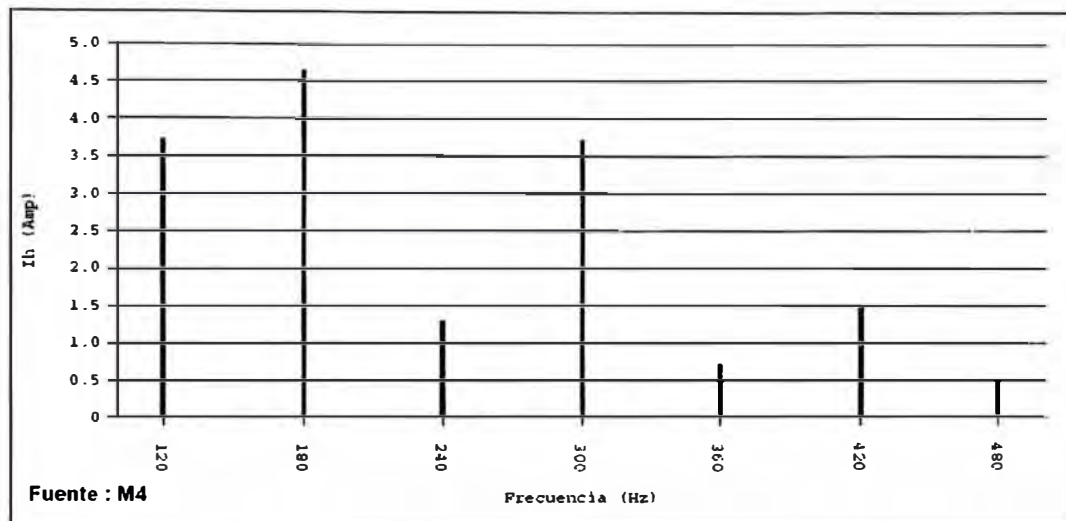


Figura 5.48 Espectro de corrientes armónicas en carga M4 (fuente de corrientes armónicas)

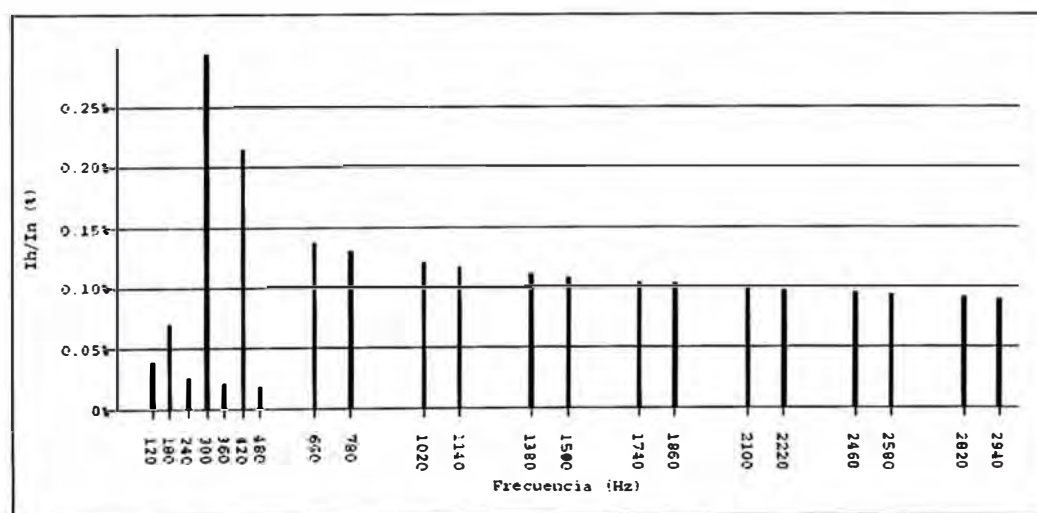


Figura 5.49 Espectro de corrientes armónicas en carga M4 (parte lineal)

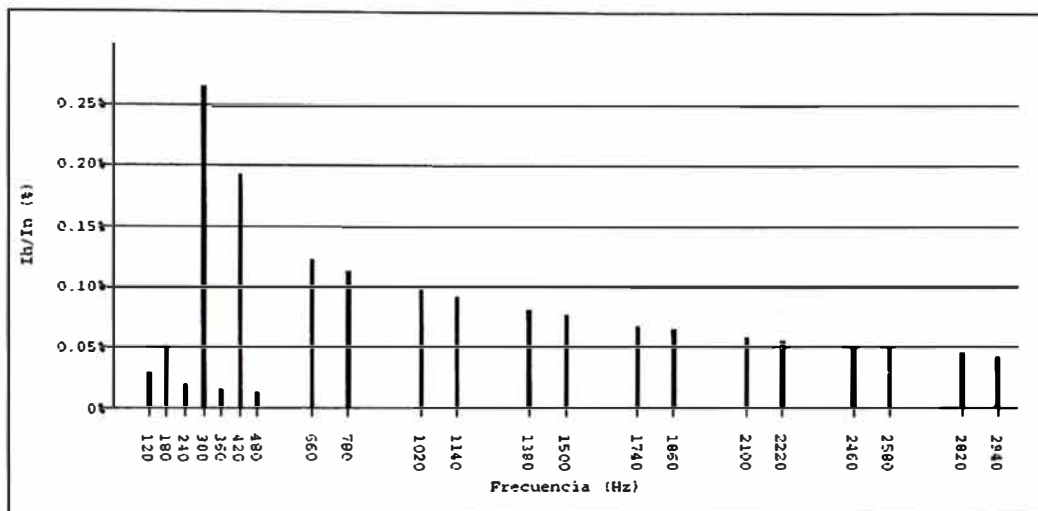


Figura 5.50 Espectro de corrientes armónicas en carga B2

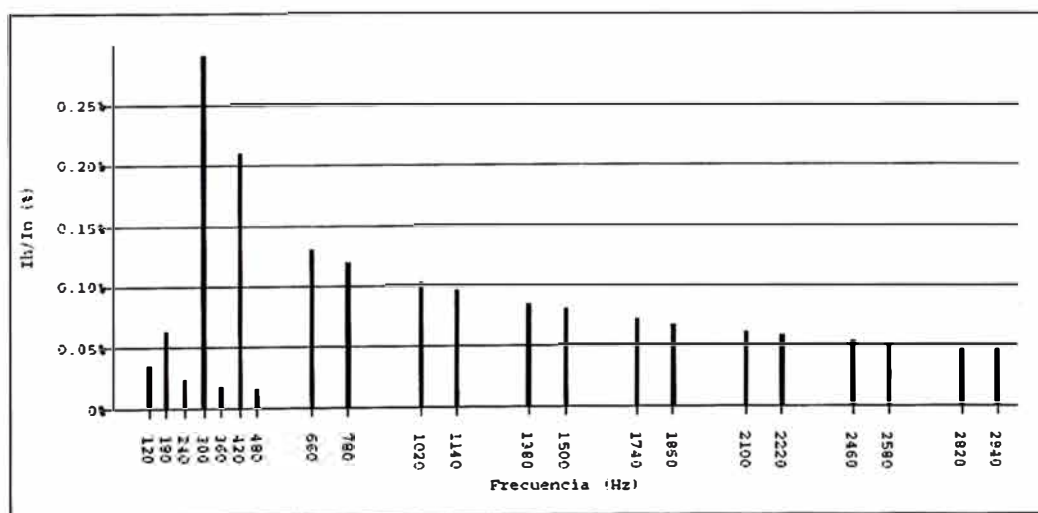


Figura 5.51 Espectro de corrientes armónicas en carga B3

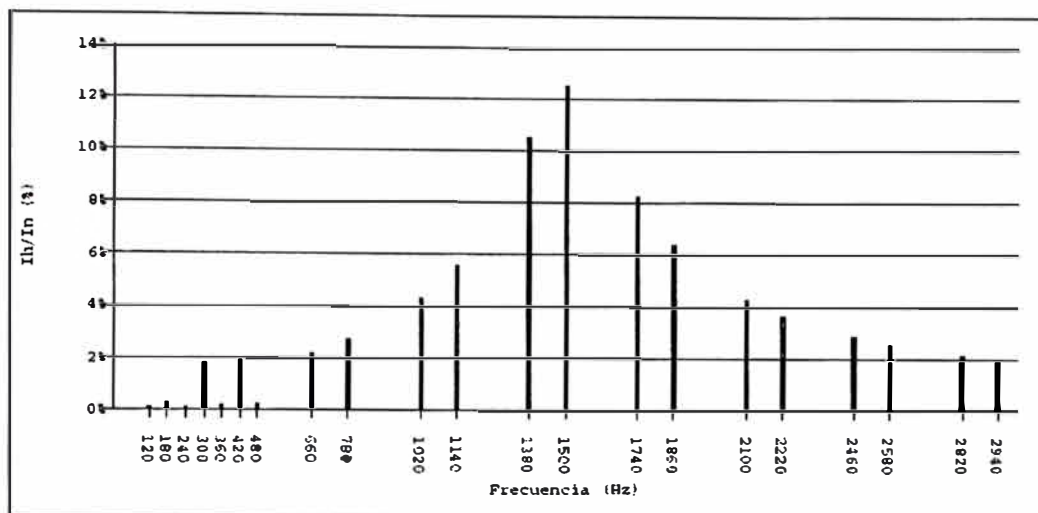


Figura 5.52 Espectro de corrientes armónicas en carga B4

f) Sensibilidad del THD (%) versus la variación de la carga

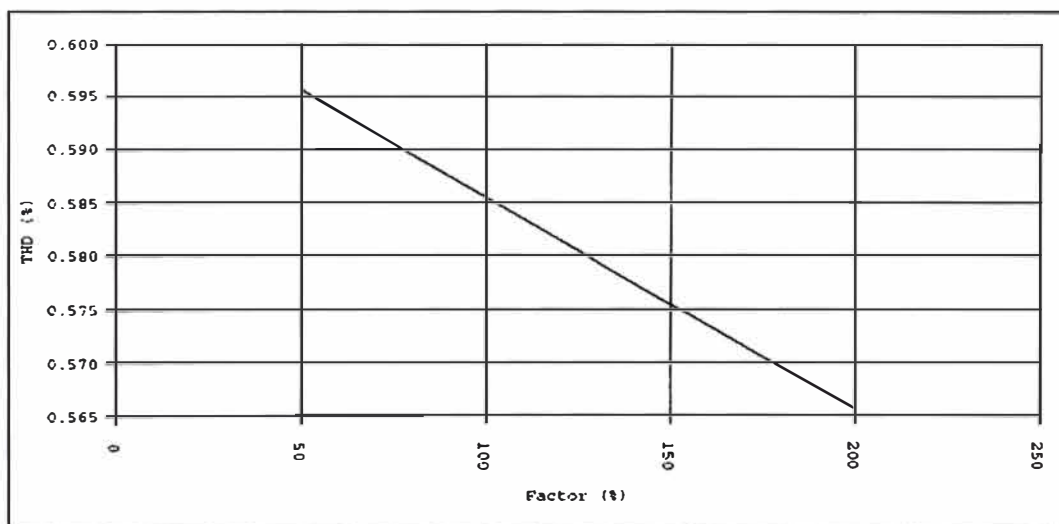


Figura 5.53 Sensibilidad en barra M1

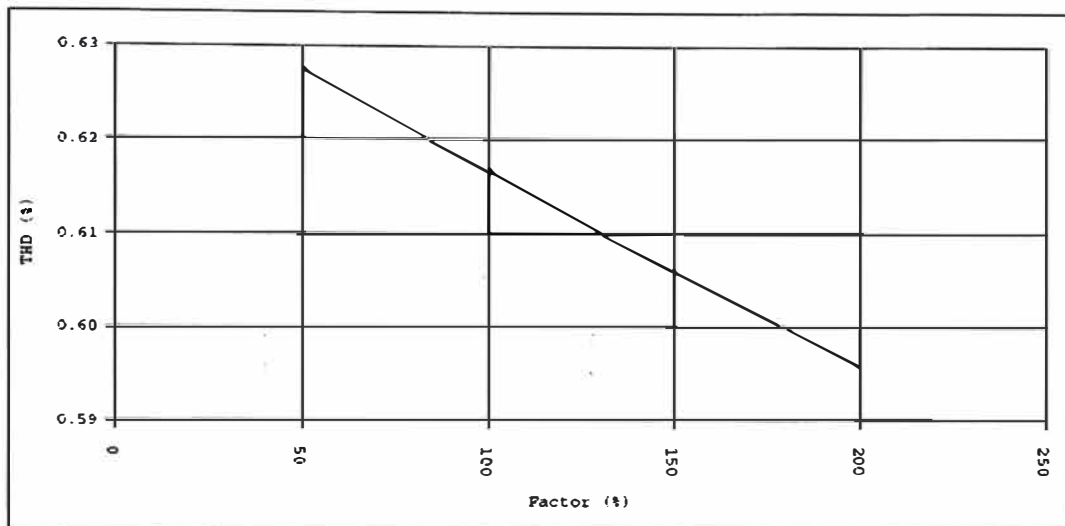


Figura 5.54 Sensibilidad en barra M2

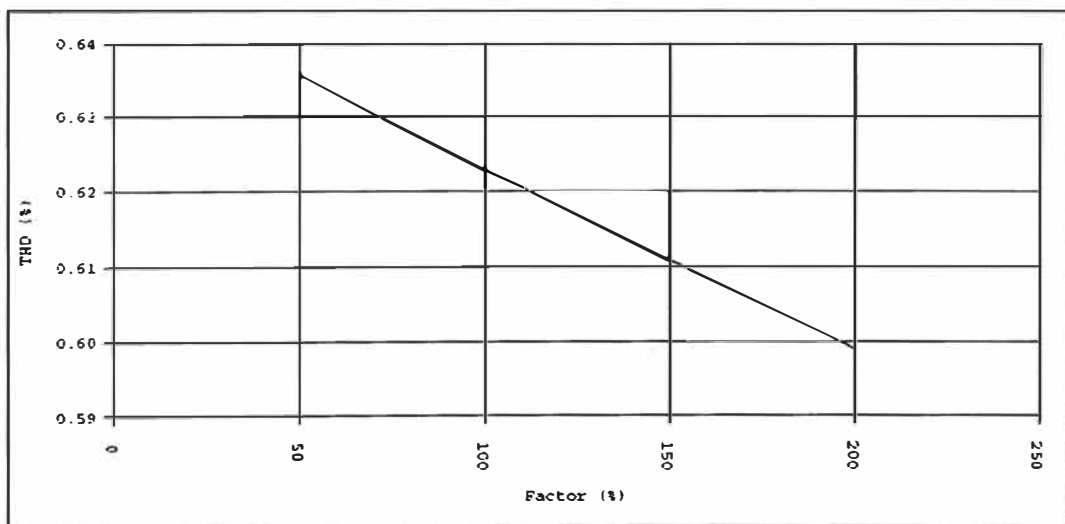


Figura 5.55 Sensibilidad en barra M3

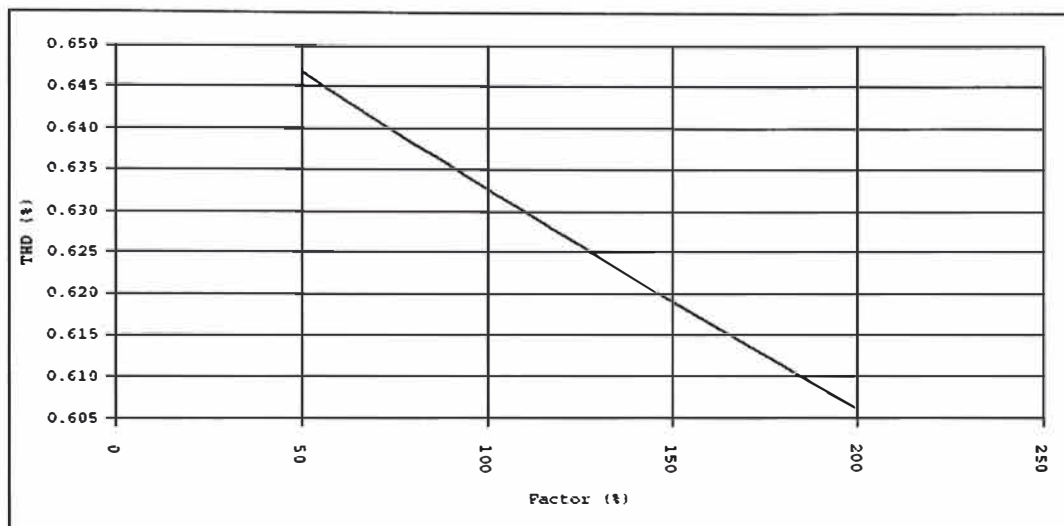


Figura 5.56 Sensibilidad en barra M4

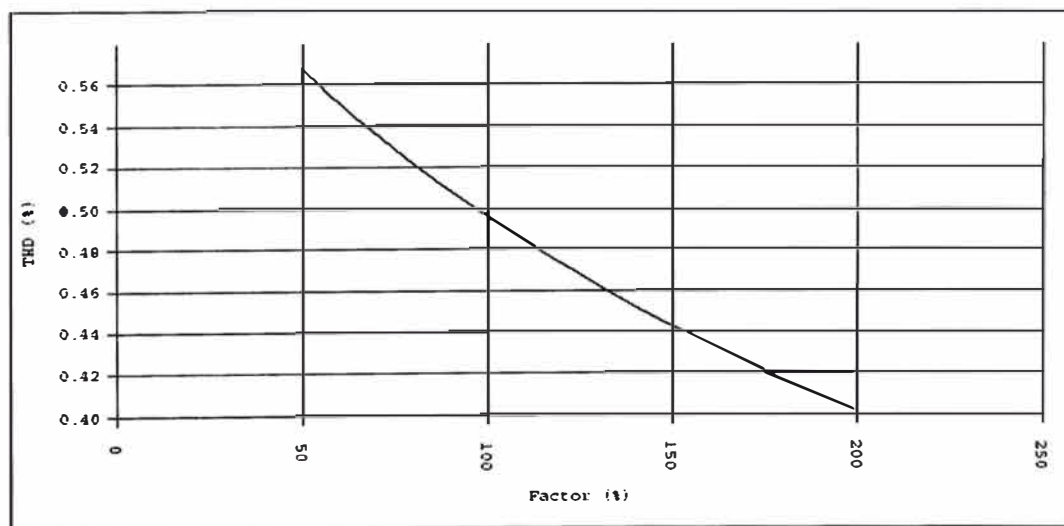


Figura 5.57 Sensibilidad en barra B2

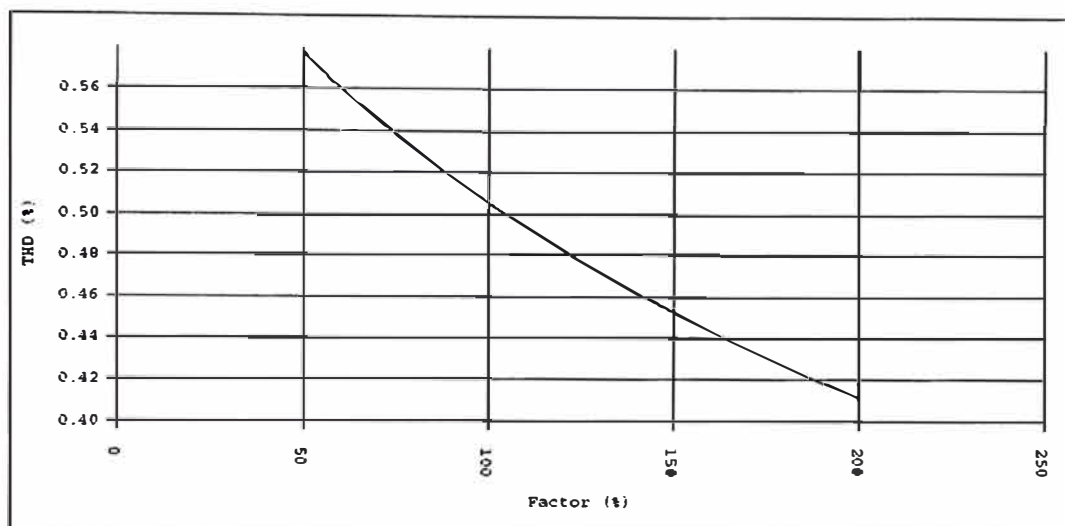


Figura 5.58 Sensibilidad en barra B3

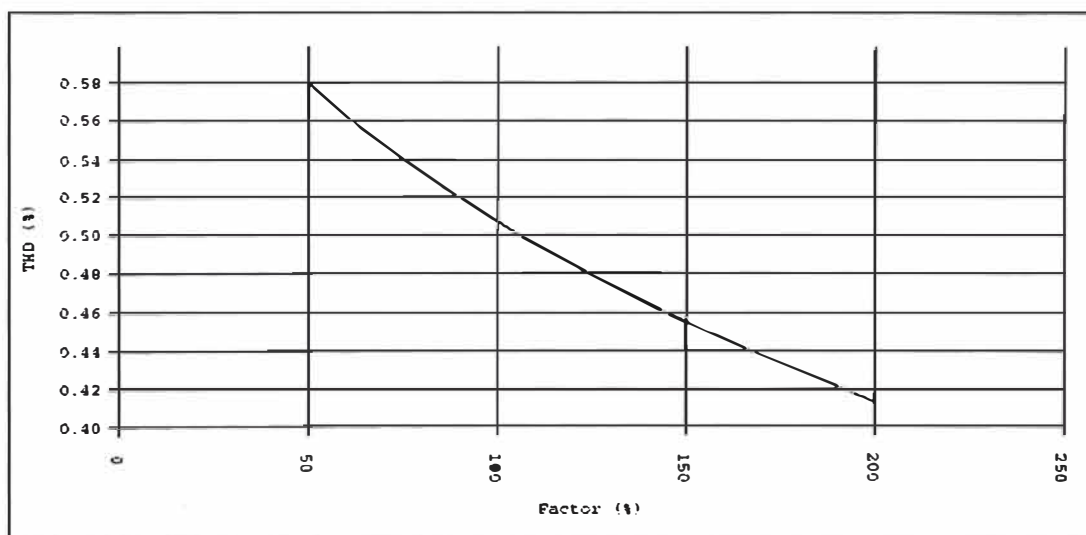


Figura 5.59 Sensibilidad de la carga en barra B4

5.4.3 Carga perturbadora con banco de condensadores

a) Matriz de impedancias

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 60.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 40.182793

2 0.242366

3 0.255896

4 0.300952

5 0.364372

6 0.259492

7 0.306674

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.242366

2 0.240366

3 0.240190

4 0.239780

5 0.239415

6 0.243565

7 0.244339

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.255896

2 0.240190

3 0.253599

4 0.253165

5 0.252780

6 0.257162

7 0.257979

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 0.300952

2	0.239780
3	0.253165
4	0.297741
5	0.297287
6	0.256723
7	0.303402

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.364372
2	0.239415
3	0.252780
4	0.297287
5	0.359935
6	0.256332
7	0.302940

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.259492
2	0.243565
3	0.257162
4	0.256723
5	0.256332
6	11.782306
7	0.261604

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.306674
2	0.244339
3	0.257979
4	0.303402
5	0.302940
6	0.261604
7	7.332999

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 120.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 79.165108
 2 0.479278
 3 0.505010
 4 0.583244
 5 0.686308
 6 0.506827
 7 0.588499

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.479278
 2 0.482323
 3 0.481936
 4 0.481065
 5 0.480361
 6 0.483671
 7 0.485400

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.505010
 2 0.481936
 3 0.507810
 4 0.506893
 5 0.506150
 6 0.509538
 7 0.511460

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.583244
 2 0.481065
 3 0.506893
 4 0.585419
 5 0.584561
 6 0.508717
 7 0.590693

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO
 1 0.686308
 2 0.480361

3	0.506150
4	0.584561
5	0.687858
6	0.507972
7	0.589828

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.506827
2	0.483671
3	0.509638
4	0.508717
5	0.507972
6	23.317930
7	0.513301

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.588499
2	0.485400
3	0.511460
4	0.590693
5	0.589828
6	0.513301
7	14.507239

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 180.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	116.946304
2	0.712830
3	0.750592
4	0.861513
5	1.003323
6	0.744832
7	0.859887

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.712830
2	0.727491
3	0.726981
4	0.725927
5	0.725278
6	0.721402
7	0.724557

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.750592
2	0.726981
3	0.765493
4	0.764383
5	0.763700
6	0.759618
7	0.762940

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.861513
2	0.725927
3	0.764383
4	0.877342
5	0.876558
6	0.758517
7	0.875686

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.003323
2	0.725278
3	0.763700
4	0.876558
5	1.020844
6	0.757839
7	0.874903

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.744832
2	0.721402
3	0.759618

4	0.758517
5	0.757839
6	34.581459
7	0.757085

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.859887
2	0.724557
3	0.762940
4	0.875686
5	0.874903
6	0.757085
7	21.515335

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 240.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	153.504944
2	0.945022
3	0.994747
4	1.138203
5	1.318558
6	0.975178
7	1.122744

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.945022
2	0.977588
3	0.977144
4	0.976458
5	0.976588
6	0.957921
7	0.963196

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.994747
---	----------

2	0.977144
3	1.028560
4	1.027838
5	1.027975
6	1.008325
7	1.013878

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.138203
2	0.976459
3	1.027838
4	1.176066
5	1.176222
6	1.007618
7	1.160093

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.318558
2	0.976588
3	1.027975
4	1.176222
5	1.362601
6	1.007752
7	1.160247

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	0.975178
2	0.957921
3	1.008325
4	1.007618
5	1.007752
6	45.549168
7	0.993932

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.122744
2	0.963196
3	1.013878
4	1.160093

5 1.160247
 6 0.993932
 7 28.342430

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 300.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 188.828964
 2 1.177939
 3 1.239668
 4 1.415811
 5 1.634939
 6 1.199625
 7 1.379036

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.177939
 2 1.234495
 3 1.234406
 4 1.234919
 5 1.236887
 6 1.194533
 7 1.202842

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.239668
 2 1.234406
 3 1.299094
 4 1.299634
 5 1.301705
 6 1.257132
 7 1.265877

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.415811
 2 1.234919

3	1.299634
4	1.484298
5	1.486663
6	1.257654
7	1.445744

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.634939
2	1.236887
3	1.301705
4	1.486663
5	1.716757
6	1.259658
7	1.448048

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.199625
2	1.194533
3	1.257132
4	1.257654
5	1.259658
6	56.201748
7	1.224987

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.379036
2	1.202843
3	1.265877
4	1.445744
5	1.448048
6	1.224987
7	34.975979

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 360.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	222.915817
2	1.413823
3	1.487711
4	1.697016
5	1.955549
6	1.420070
7	1.630887

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.413823
2	1.500309
3	1.500973
4	1.503814
5	1.509047
6	1.432728
7	1.445214

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.487711
2	1.500973
3	1.579416
4	1.582406
5	1.587912
6	1.507605
7	1.520743

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.697016
2	1.503814
3	1.582406
4	1.805033
5	1.811314
6	1.510459
7	1.734695

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.955549
2	1.509047
3	1.587912

4	1.811314
5	2.087260
6	1.515714
7	1.740731

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.420070
2	1.432728
3	1.507605
4	1.510459
5	1.515714
6	66.524361
7	1.451600

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.630887
2	1.445214
3	1.520743
4	1.734695
5	1.740731
6	1.451600
7	41.406162

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 420.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	255.771683
2	1.655165
3	1.741498
4	1.984793
5	2.283799
6	1.638612
7	1.880657

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.655165
---	----------

2	1.777437
3	1.779371
4	1.786008
5	1.796346
6	1.674248
7	1.692301

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.741498
2	1.779371
3	1.872182
4	1.879165
5	1.890043
6	1.761576
7	1.780571

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.984793
2	1.786008
3	1.879165
4	2.141693
5	2.154089
6	1.768147
7	2.029325

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.283800
2	1.796346
3	1.890043
4	2.154089
5	2.478601
6	1.778381
7	2.041071

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.638613
2	1.674247
3	1.761576
4	1.768147

5 1.778381
 6 76.506432
 7 1.675377

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.880657
 2 1.692301
 3 1.780571
 4 2.029325
 5 2.041071
 6 1.675377
 7 47.625961

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 480.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 287.410583
 2 1.904794
 3 2.004002
 4 2.282515
 5 2.623549
 6 1.857606
 7 2.131000

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 1.904794
 2 2.068691
 3 2.072550
 4 2.084838
 5 2.102602
 6 1.921147
 7 1.946444

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.004002
 2 2.072550

3	2.180495
4	2.193423
5	2.212112
6	2.021206
7	2.047821

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.282515
2	2.084838
3	2.193423
4	2.498262
5	2.519548
6	2.033190
7	2.332425

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.623549
2	2.102602
3	2.212112
4	2.519548
5	2.895998
6	2.050513
7	2.352298

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	1.857606
2	1.921147
3	2.021206
4	2.033190
5	2.050513
6	86.141373
7	1.898224

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.131000
2	1.946444
3	2.047821
4	2.332425
5	2.352298

6 1.898224
7 53.631016

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)
Frecuencia: 540.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 317.853210
2 2.165984
3 2.278666
4 2.594094
5 2.979272
6 2.079727
7 2.384947

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.165984
2 2.377404
3 2.384009
4 2.404261
5 2.432341
6 2.175873
7 2.210420

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.278666
2 2.384009
3 2.508034
4 2.529340
5 2.558880
6 2.289069
7 2.325414

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.594094
2 2.404261
3 2.529340

4	2.879468
5	2.913097
6	2.308515
7	2.647313

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.979272
2	2.432341
3	2.558880
4	2.913097
5	3.345642
6	2.335477
7	2.678231

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.079727
2	2.175873
3	2.289070
4	2.308516
5	2.335477
6	95.426300
7	2.122393

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.384947
2	2.210419
3	2.325414
4	2.647313
5	2.678231
6	2.122393
7	59.419449

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 600.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	347.125793
---	------------

2	2.442619
3	2.569577
4	2.924170
5	3.356276
6	2.308086
7	2.646033

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.442619
2	2.707616
3	2.717982
4	2.749070
5	2.791046
6	2.441389
7	2.487588

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.569577
2	2.717982
3	2.859252
4	2.891956
5	2.936113
6	2.568283
7	2.616883

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.924170
2	2.749070
3	2.891956
4	3.291037
5	3.341287
6	2.597659
7	2.978004

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILAS IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.356276
2	2.791046
3	2.936113
4	3.341287

5	3.835031
6	2.637322
7	3.023475

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.308086
2	2.441389
3	2.568283
4	2.597659
5	2.637322
6	104.361565
7	2.350578

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.646033
2	2.487588
3	2.616883
4	2.978004
5	3.023475
6	2.350578
7	64.991615

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 660.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	375.259460
2	2.739393
3	2.881669
4	3.278344
5	3.760969
6	2.546358
7	2.918434

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.739393
2	3.064294

3	3.079679
4	3.125158
5	3.185462
6	2.721327
7	2.782066

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.881669
2	3.079679
3	3.239629
4	3.287470
5	3.350907
6	2.862666
7	2.926559

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.278344
2	3.125158
3	3.287470
4	3.740005
5	3.812174
6	2.904940
7	3.329413

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.760969
2	3.185462
3	3.350906
4	3.812174
5	4.373387
6	2.960995
7	3.393659

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.546358
2	2.721327
3	2.862665
4	2.904939
5	2.960995

6 112.950546
7 2.586024

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 2.918435

2 2.782066

3 2.926559

4 3.329413

5 3.393659

6 2.586024

7 70.349922

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 720.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 402.289185

2 3.062088

3 3.221025

4 3.663525

5 4.201257

6 2.798972

7 3.207202

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.062088

2 3.453640

3 3.475607

4 3.539893

5 3.624036

6 3.020196

7 3.098969

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.221025

2 3.475607

3 3.656008

4	3.723631
5	3.812141
6	3.176959
7	3.259821

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.663525
2	3.539893
3	3.723630
4	4.235177
5	4.335847
6	3.235720
7	3.707651

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	4.201257
2	3.624036
3	3.812141
4	4.335847
5	4.972263
6	3.312634
7	3.795781

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	2.798973
2	3.020195
3	3.176958
4	3.235721
5	3.312634
6	121.199097
7	2.832685

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.207202
2	3.098969
3	3.259821
4	3.707650
5	3.795781
6	2.832685

7 75.498459

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 780.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 428.252960

2 3.417972

3 3.595287

4 4.088389

5 4.687065

6 3.071384

7 3.518551

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.417972

2 3.883534

3 3.914033

4 4.002647

5 4.117519

6 3.343683

7 3.444761

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 3.595286

2 3.914033

3 4.117082

4 4.210293

5 4.331124

6 3.517144

7 3.623465

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 4.088388

2 4.002647

3	4.210293
4	4.787745
5	4.925148
6	3.596772
7	4.120432

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	4.687064
2	4.117518
3	4.331124
4	4.925148
5	5.646353
6	3.699996
7	4.238684

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.071384
2	3.343683
3	3.517144
4	3.596772
5	3.699996
6	129.115295
7	3.095456

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.518552
2	3.444761
3	3.623465
4	4.120432
5	4.238684
6	3.095457
7	80.442772

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 840.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	453.191345
2	3.816247
3	4.014134
4	4.563936
5	5.230989
6	3.370362
7	3.860214

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.816247
2	4.364033
3	4.405519
4	4.525418
5	4.679708
6	3.698978
7	3.827635

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	4.014134
2	4.405519
3	4.633963
4	4.760078
5	4.922369
6	3.890784
7	4.026112

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	4.563936
2	4.525418
3	4.760078
4	5.412049
5	5.596568
6	3.996674
7	4.577554

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	5.230989
2	4.679709
3	4.922369

4	5.596569
5	6.414548
6	4.132937
7	4.733622

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	3.370362
2	3.698978
3	3.890784
4	3.996674
5	4.132937
6	136.708801
7	3.380419

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	3.860214
2	3.827635
3	4.026112
4	4.577554
5	4.733622
6	3.380419
7	85.189377

MATRIZ DE IMPEDANCIAS (p.u.)

Frecuencia: 900.0 Hz

COLUMNA(j=1) BARRA: B4

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	477.146454
2	4.268959
3	4.490233
4	5.104546
5	5.849484
6	3.704633
7	4.242144

COLUMNA(j=2) BARRA: M1

FILA	IMPEDANCIA(i,j)
(i)	MÓDULO
1	4.268959

2	4.908372
3	4.963970
4	5.124021
5	5.328816
6	4.095485
7	4.258328

COLUMNA(j=3) BARRA: M2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	4.490233
2	4.963969
3	5.221268
4	5.389615
5	5.605027
6	4.307768
7	4.479051

COLUMNA(j=4) BARRA: M3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	5.104547
2	5.124021
3	5.389615
4	6.126974
5	6.371856
6	4.446661
7	5.091835

COLUMNA(j=5) BARRA: M4

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	5.849484
2	5.328816
3	5.605027
4	6.371856
5	7.301741
6	4.624385
7	5.295345

COLUMNA(j=6) BARRA: B2

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1	3.704632
2	4.095485
3	4.307767
4	4.446661

5 4.624384
6 143.990677
7 3.695407

COLUMNA(j=7) BARRA: B3

FILA IMPEDANCIA(i,j)

(i) MÓDULO

1 4.242144

2 4.258327

3 4.479051

4 5.091835

5 5.295344

6 3.695407

7 89.745338

b) Tensiones armónicas en barras

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSION *
* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 120 180 240 300 360

	120	180	240	300	360
B4	0.044	0.080	0.029	0.339	0.023
M1	0.031	0.058	0.021	0.313	0.018
M2	0.032	0.061	0.023	0.330	0.019
M3	0.037	0.070	0.026	0.341	0.022
M4	0.044	0.082	0.030	0.356	0.025
B2	0.033	0.061	0.022	0.319	0.018
B3	0.038	0.070	0.026	0.332	0.021

* RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSION *
* TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 420 480 660 780 1020

	420	480	660	780	1020
B4	0.251	0.021	0.171	0.172	0.194
M1	0.243	0.017	0.182	0.187	0.217
M2	0.255	0.018	0.192	0.197	0.228
M3	0.263	0.020	0.195	0.201	0.238
M4	0.272	0.023	0.198	0.207	0.251

B2	0.240	0.016	0.169	0.168	0.182
B3	0.249	0.019	0.173	0.173	0.191

 * RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
 * TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 1140 1380 1500 1740 1860

B4	0.220	0.318	0.336	0.179	0.125
M1	0.248	0.359	0.378	0.195	0.133
M2	0.260	0.378	0.398	0.205	0.140
M3	0.275	0.413	0.443	0.240	0.168
M4	0.294	0.456	0.500	0.284	0.205
B2	0.200	0.270	0.274	0.132	0.087
B3	0.213	0.297	0.307	0.155	0.105

 * RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
 * TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 2100 2220 2460 2580 2820

B4	0.069	0.054	0.036	0.030	0.022
M1	0.069	0.052	0.030	0.024	0.015
M2	0.072	0.054	0.032	0.025	0.016
M3	0.094	0.073	0.047	0.039	0.027
M4	0.121	0.098	0.069	0.059	0.045
B2	0.042	0.030	0.017	0.013	0.007
B3	0.054	0.041	0.025	0.020	0.013

 * RESULTADOS DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN *
 * TENSIONES ARMÓNICAS (%) *

Frec. (Hz): 2940

B4	0.019
M1	0.012
M2	0.013
M3	0.022
M4	0.040
B2	0.006
B3	0.010

c) THD de tensión (h = 2 hasta h = 40)

 * RESULTADOS DE THD EN BARRAS *

BARRA	THD (%)	THD NTCSE (%)
B4	0.75	8.00
M1	0.80	8.00
M2	0.85	8.00
M3	0.92	8.00
M4	1.01	8.00
B2	0.66	8.00
B3	0.71	8.00

d) Flujo de armónicos (amperios)

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO	2	3	4	5	6
B4					
M4	0.1	0.2	0.1	0.7	0.0
Carga	0.1	0.2	0.1	0.7	0.0
M1					
Generador	3.7	4.6	1.3	15.0	0.7
M2	3.7	4.6	1.3	15.0	0.7
M2					
M1	3.7	4.6	1.3	15.0	0.7
M3	3.7	4.6	1.3	4.1	0.7
Rectificador	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0
B2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
M3					
M4	3.7	4.6	1.3	4.1	0.7
M2	3.7	4.6	1.3	4.1	0.7
B3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
M4					
M3	3.7	4.6	1.3	4.1	0.7

B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Carga	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	
Capacitancia	0.0	0.1	0.0	0.5	0.0	
Fuente	3.7	4.6	1.3	3.7	0.7	

B2	Carga	0.3	0.5	0.2	2.5	0.1
	M2	0.3	0.5	0.2	2.5	0.1

B3	M3	0.5	0.9	0.3	4.4	0.3
	Carga	0.5	0.9	0.3	4.4	0.3
=====						

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		7	8	11	13	17
=====						
B4	M4	0.5	0.0	0.4	0.4	0.4
	Carga	0.5	0.0	0.4	0.4	0.4

M1	Generador	8.3	0.5	4.0	3.4	3.1
	M2	8.3	0.5	4.0	3.4	3.1

M2	M1	8.3	0.5	4.0	3.4	3.1
	M3	2.0	0.5	0.6	0.8	1.2
	Rectificador	6.4	0.0	3.4	2.8	2.0
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

M3	M4	2.0	0.5	0.6	0.8	1.2
	M2	2.0	0.5	0.6	0.8	1.2
	B3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1

M4	M3	2.0	0.5	0.6	0.8	1.2
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Carga	0.3	0.0	0.2	0.2	0.2
	Capacitancia	0.5	0.1	0.6	0.8	1.2
	Fuente	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0

B2	Carga	1.9	0.1	1.3	1.3	1.4
	M2	1.9	0.1	1.3	1.3	1.4

B3	M3	3.3	0.2	2.3	2.3	2.5
	Carga	3.3	0.2	2.3	2.3	2.5

=====

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVÍO RECEPCIÓN *

=====

ARMÓNICO 19 23 25 29 31

=====

		19	23	25	29	31
B4	M4	0.5	0.7	0.7	0.4	0.3
	Carga	0.5	0.7	0.7	0.4	0.3
M1	Generador	3.1	3.7	3.6	1.6	1.0
	M2	3.1	3.7	3.6	1.6	1.0
M2	M1	3.1	3.7	3.6	1.6	1.0
	M3	1.6	3.0	3.6	2.4	1.8
	Rectificador	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	M4	1.6	3.0	3.6	2.4	1.8
	M2	1.6	3.0	3.6	2.4	1.8
	B3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
M4	M3	1.6	3.0	3.6	2.4	1.8
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Carga	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2
	Capacitancia	1.6	3.0	3.6	2.4	1.8
	Fuente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2	Carga	1.6	2.1	2.2	1.0	0.7
	M2	1.6	2.1	2.2	1.0	0.7
B3	M3	2.8	3.9	4.0	2.0	1.4
	Carga	2.8	3.9	4.0	2.0	1.4

=====

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
 * ENVÍO RECEPCIÓN *

=====

ARMÓNICO 35 37 41 43 47 49

=====

B4							
	M4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
M1							
	Generador	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	M2	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
M2							
	M1	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	M3	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6
	Rectificador	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
	B2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3							
	M4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6
	M2	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6
	B3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M4							
	M3	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6
	B4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Carga	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	Capacitancia	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6
	Fuente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B2							
	Carga	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
	M2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
B3							
	M3	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1
	Carga	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1

e) Flujo de armónicos (potencia)

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO	2	3	4			
B4						
	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1						
	Gener.	0.000	0.020	-0.000	0.047	0.000
	M2	0.000	-0.020	0.000	-0.047	0.000

M2	M1	0.001	0.021	0.003	0.049	0.000	0.005
	M3	-0.001	-0.021	-0.003	-0.049	-0.000	-0.005
	Rectif.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	M4	-0.005	-0.023	-0.010	-0.056	-0.001	-0.006
	M2	0.005	0.023	0.010	0.056	0.001	0.006
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	M3	0.009	0.027	0.018	0.063	0.002	0.007
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Capac.	-0.000	-0.000	0.000	-0.001	-0.000	-0.000
	Fuente	-0.009	-0.027	-0.019	-0.063	-0.002	-0.006
B2	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		5	6	7		
B4	M4	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.001
	Carga	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
M1	Gener.	-0.000	0.814	0.000	0.002	-0.000
	M2	-0.000	-0.814	0.000	-0.002	-0.000
M2	M1	0.035	0.856	0.000	0.002	0.013
	M3	0.011	-0.234	-0.000	-0.002	0.011
	Rectif.	0.049	0.622	0.000	0.000	0.025
	B2	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002
M3	M4	-0.001	-0.244	-0.000	-0.003	0.006
	M2	-0.004	0.243	0.000	0.003	-0.009
	B3	0.006	0.002	0.000	0.000	0.003
M4						

	M3	0.010	0.254	0.001	0.003	-0.003	0.095
	B4	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
	Carga	0.021	0.003	0.000	0.000	0.013	0.001
	Capac.	-0.000	-0.032	-0.000	-0.000	0.000	-0.026
	Fuente	-0.032	-0.226	-0.001	-0.003	-0.010	-0.070
B2	-----						
	Carga	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
	M2	-0.003	-0.000	-0.000	-0.000	-0.002	-0.000
B3	-----						
	M3	-0.006	-0.001	-0.000	-0.000	-0.003	-0.000
	Carga	0.006	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO		8	11	13		
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	0.000	0.001	-0.000	0.125	0.000
	M2	-0.000	-0.001	0.000	-0.125	0.000
M2	M1	0.000	0.002	0.004	0.132	0.003
	M3	-0.000	-0.002	0.009	-0.020	0.010
	Rectif.	0.000	0.000	0.014	0.113	0.014
	B2	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
M3	M4	-0.000	-0.002	0.007	-0.021	0.008
	M2	0.000	0.002	-0.009	0.020	-0.010
	B3	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002
M4	M3	0.000	0.002	-0.007	0.021	-0.008
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.000	0.000	0.007	0.000	0.007
	Capac.	-0.000	-0.000	-0.000	-0.022	-0.000
	Fuente	-0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000
B2	Carga	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
	M2	-0.000	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001
B3	M3	-0.000	-0.000	-0.002	-0.000	-0.001

Carga 0.000 0.000 0.002 0.000 0.001 0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO	17	19	23				
B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
M1	Gener.	0.000	0.115	0.000	0.134	0.000	0.233
	M2	-0.000	-0.115	0.000	-0.134	0.000	-0.233
M2	M1	0.003	0.121	0.003	0.141	0.005	0.245
	M3	0.016	-0.046	0.022	-0.069	0.059	-0.188
	Rectif.	0.019	0.075	0.027	0.073	0.067	0.059
	B2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002
M3	M4	0.012	-0.050	0.018	-0.076	0.046	-0.213
	M2	-0.015	0.049	-0.020	0.074	-0.051	0.209
	B3	0.002	0.001	0.003	0.002	0.005	0.004
M4	M3	-0.011	0.053	-0.015	0.082	-0.036	0.238
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
	Carga	0.011	0.000	0.015	0.000	0.035	0.001
	Capac.	-0.000	-0.053	0.000	-0.082	0.000	-0.240
	Fuente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	Carga	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000
	M2	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.002	-0.000
B3	M3	-0.002	-0.000	-0.002	-0.000	-0.004	-0.000
	Carga	0.002	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

ARMÓNICO 25 29 31

=====							
B4	-----						
	M4	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
	Gener.	0.000	0.237	0.000	0.055	-0.000	0.024
	M2	-0.000	-0.237	0.000	-0.055	0.000	-0.024
M2	-----						
	M1	0.005	0.250	0.001	0.057	0.000	0.025
	M3	0.076	-0.235	0.028	-0.079	0.015	-0.041
	Rectif.	0.083	0.016	0.029	-0.021	0.016	-0.016
	B2	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
M3	-----						
	M4	0.058	-0.272	0.021	-0.097	0.011	-0.052
	M2	-0.064	0.268	-0.022	0.096	-0.012	0.052
	B3	0.006	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001
M4	-----						
	M3	-0.044	0.311	-0.014	0.117	-0.007	0.065
	B4	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.043	0.001	0.014	0.000	0.007	0.000
	Capac.	0.000	-0.313	0.000	-0.117	-0.000	-0.065
	Fuente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	-----						
	Carga	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.002	-0.000	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000
B3	-----						
	M3	-0.005	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000
	Carga	0.005	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
=====							

* FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
* ENVIO RECEPCIÓN *

=====							
ARMÓNICO		35		37		41	
=====							
B4	-----						
	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	-----						
	Gener.	0.000	0.006	-0.000	0.003	-0.000	0.001
	M2	-0.000	-0.006	0.000	-0.003	-0.000	-0.001
M2	-----						
	M1	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.001
	M3	0.006	-0.014	0.004	-0.009	0.003	-0.004

M3	Rectif.	0.006	-0.008	0.005	-0.006	0.003	-0.003
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	M4	0.004	-0.019	0.003	-0.013	0.002	-0.006
	M2	-0.005	0.019	-0.003	0.013	-0.002	0.006
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B2	M3	-0.003	0.026	-0.002	0.018	-0.001	0.010
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000
	Capac.	0.000	-0.026	-0.000	-0.018	0.000	-0.010
	Fuente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B3	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
B3	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * FLUJOS ENTRE BARRAS (KW, KVAR) *
 * ENVIO RECEPCIÓN *

=====

ARMÓNICO	43	47	49
----------	----	----	----

=====

B4	M4	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1	Gener.	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	0.000	-0.001	0.000	-0.000	0.000	-0.000
M2	M1	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	M3	0.002	-0.002	0.001	-0.001	0.001	-0.000
	Rectif.	0.002	-0.002	0.001	-0.001	0.001	-0.000
	B2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M3	M4	0.001	-0.005	0.001	-0.003	0.001	-0.002
	M2	-0.001	0.005	-0.001	0.003	-0.001	0.002
	B3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M4	M3	-0.001	0.007	-0.000	0.005	-0.000	0.004
	B4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

B2	Capac.	-0.000	-0.007	0.000	-0.005	0.000	-0.004
	Fuente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B3	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	M2	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	M3	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
	Carga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 * PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	2	3	4
EN ENLACES :	0.009	0.018	0.002
EN CARGAS :	0.000	0.002	0.000
SISTEMAS EQUIV. :	0.000	0.000	0.000
MOTORES :	0.000	0.000	0.000
GENERADORES :	0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES :	-0.000	0.000	-0.000
REACTORES :	0.000	0.000	0.000
FILTROS :	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.009	0.019	0.002

 * PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	5	6	7
EN ENLACES :	0.050	0.001	0.017
EN CARGAS :	0.031	0.000	0.018
SISTEMAS EQUIV. :	0.000	0.000	0.000
MOTORES :	0.000	0.000	0.000
GENERADORES :	-0.000	0.000	-0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES :	-0.000	-0.000	0.000
REACTORES :	0.000	0.000	0.000
FILTROS :	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.081	0.001	0.035

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	8	11	13
EN ENLACES	: 0.000	0.004	0.004
EN CARGAS	: 0.000	0.009	0.010
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: 0.000	-0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: -0.000	-0.000	-0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.000	0.014	0.014

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	17	19	23
EN ENLACES	: 0.006	0.008	0.024
EN CARGAS	: 0.014	0.019	0.043
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: 0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES	: -0.000	0.000	0.000
REACTORES	: 0.000	0.000	0.000
FILTROS	: 0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.019	0.027	0.067

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	25	29	31
EN ENLACES	: 0.032	0.014	0.008
EN CARGAS	: 0.050	0.016	0.008
SISTEMAS EQUIV.	: 0.000	0.000	0.000
MOTORES	: 0.000	0.000	0.000
GENERADORES	: 0.000	0.000	-0.000

IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES :	0.000	0.000	-0.000
REACTORES :	0.000	0.000	0.000
FILTROS :	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.083	0.029	0.016

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	35	37	41
EN ENLACES :	0.004	0.003	0.002
EN CARGAS :	0.003	0.002	0.001
SISTEMAS EQUIV. :	0.000	0.000	0.000
MOTORES :	0.000	0.000	0.000
GENERADORES :	0.000	-0.000	-0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES :	0.000	-0.000	0.000
REACTORES :	0.000	0.000	0.000
FILTROS :	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.006	0.005	0.003

* PÉRDIDAS POR ARMÓNICOS (KW) *

ARMÓNICO	43	47	49
EN ENLACES :	0.001	0.001	0.001
EN CARGAS :	0.001	0.000	0.000
SISTEMAS EQUIV. :	0.000	0.000	0.000
MOTORES :	0.000	0.000	0.000
GENERADORES :	0.000	0.000	0.000
IMPEDANCIAS EQUIV:	0.000	0.000	0.000
CAPACITORES :	-0.000	0.000	0.000
REACTORES :	0.000	0.000	0.000
FILTROS :	0.000	0.000	0.000
PÉRDIDAS TOTALES:	0.002	0.001	0.001

PÉRDIDAS TOTALES ARM. : 0.435 KW
PÉRDIDAS TOTALES FLUJO : 18.466 KW

d) Barrido de frecuencias en barras

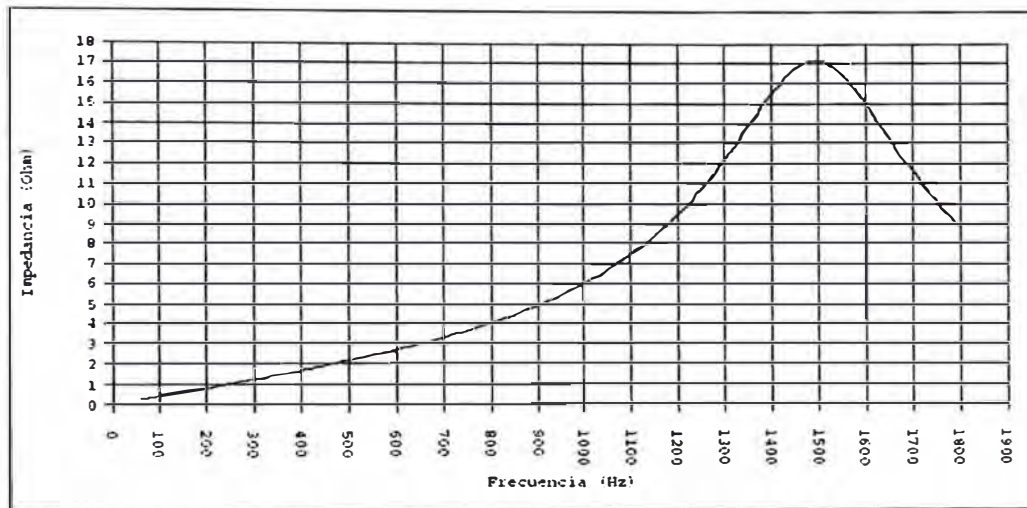


Figura 5.60 Barrido de frecuencias en barra M1

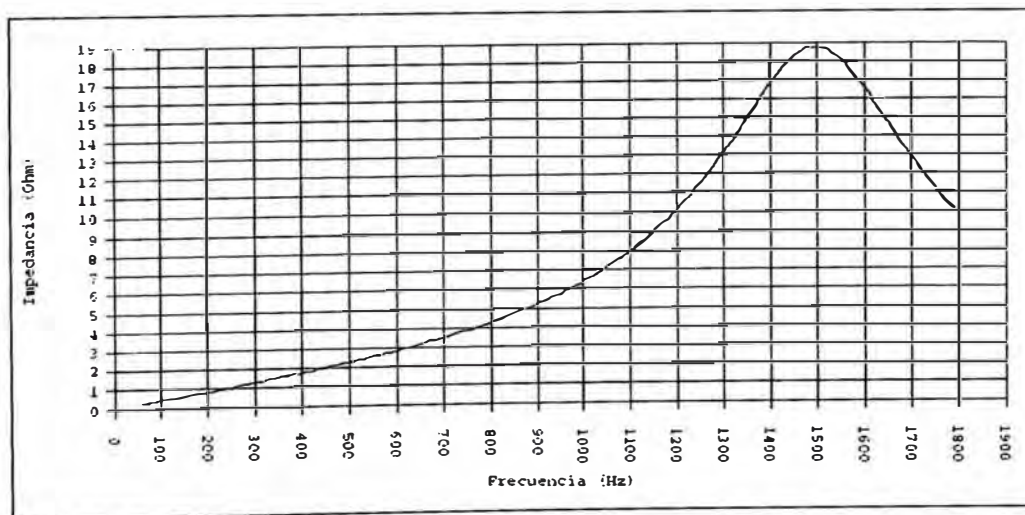


Figura 5.61 Barrido de frecuencias en barra M2

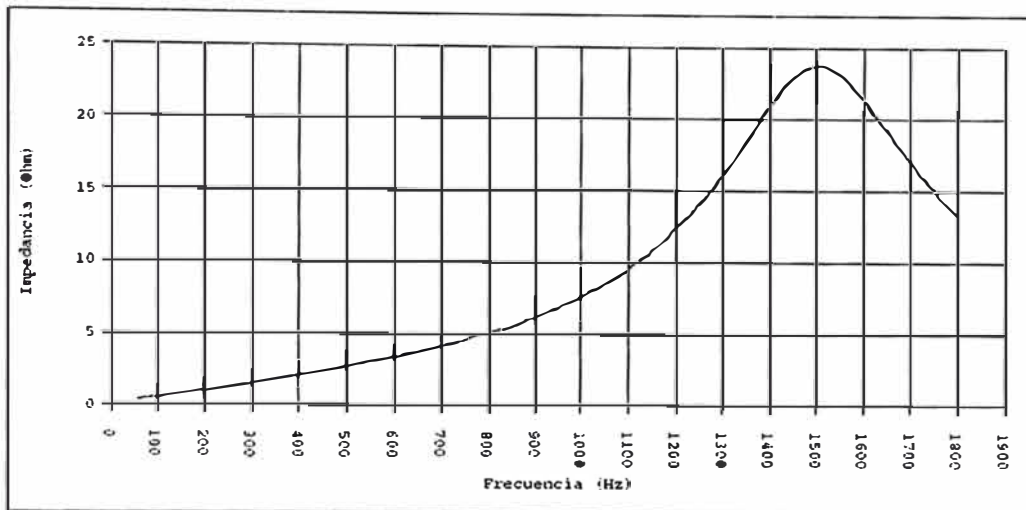


Figura 5.62 Barrido de frecuencias en barra M3

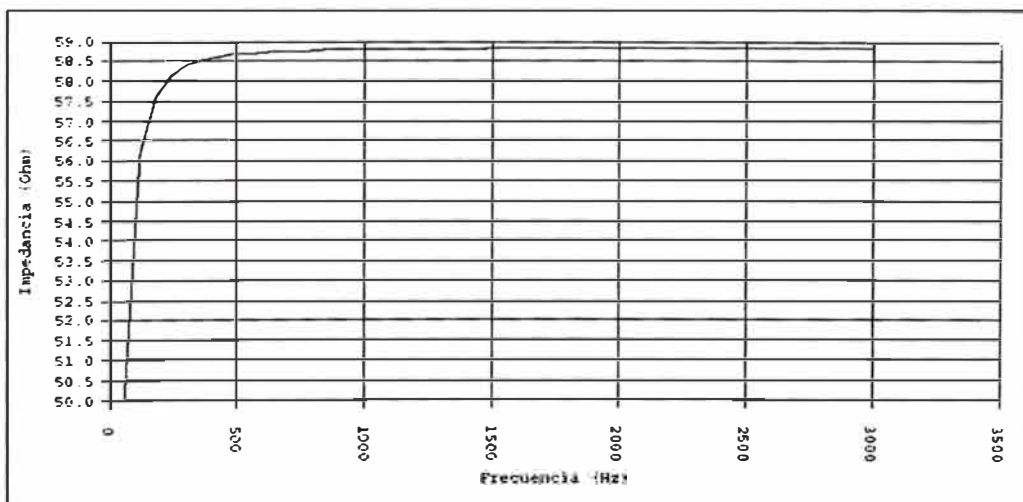


Figura 5.63 Barrido de frecuencias en barra M4

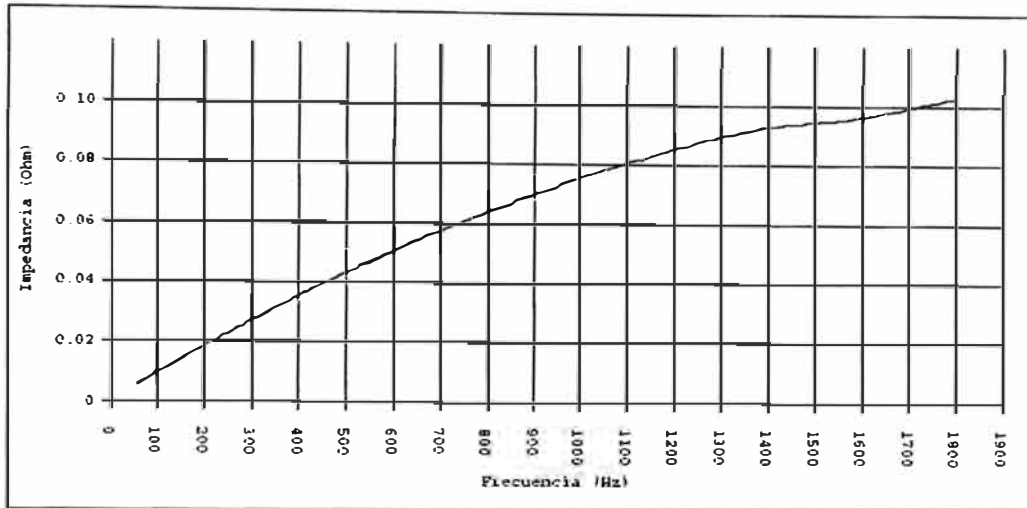


Figura 5.64 Barrido de frecuencias en barra B2

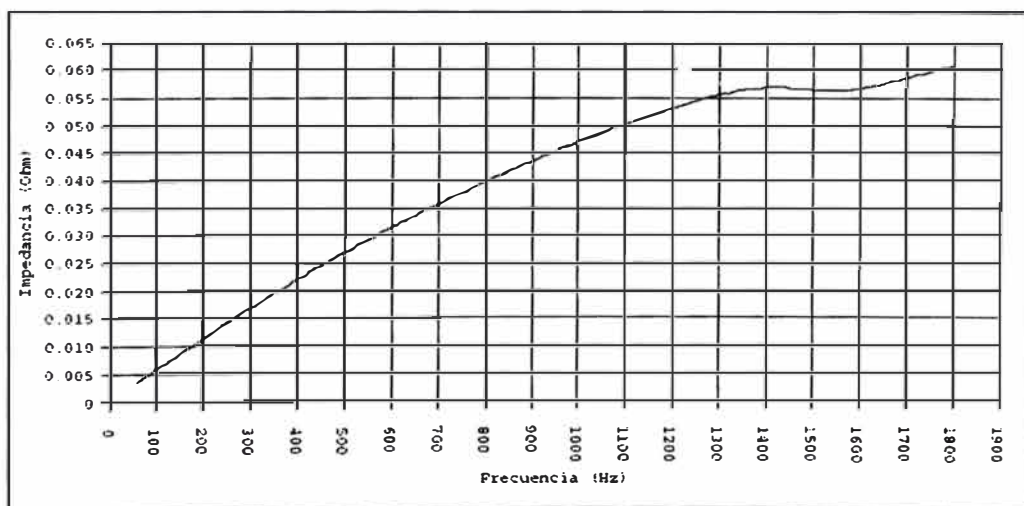


Figura 5.65 Barrido de frecuencias en barra B3

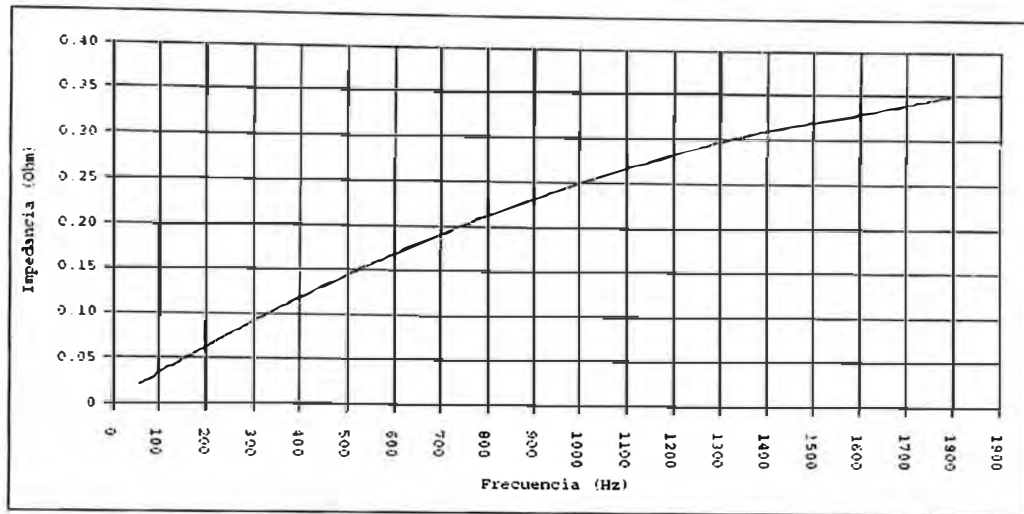


Figura 5.66 Barrido de frecuencias en barra B4

e) Espectros armónicos en barras y cargas

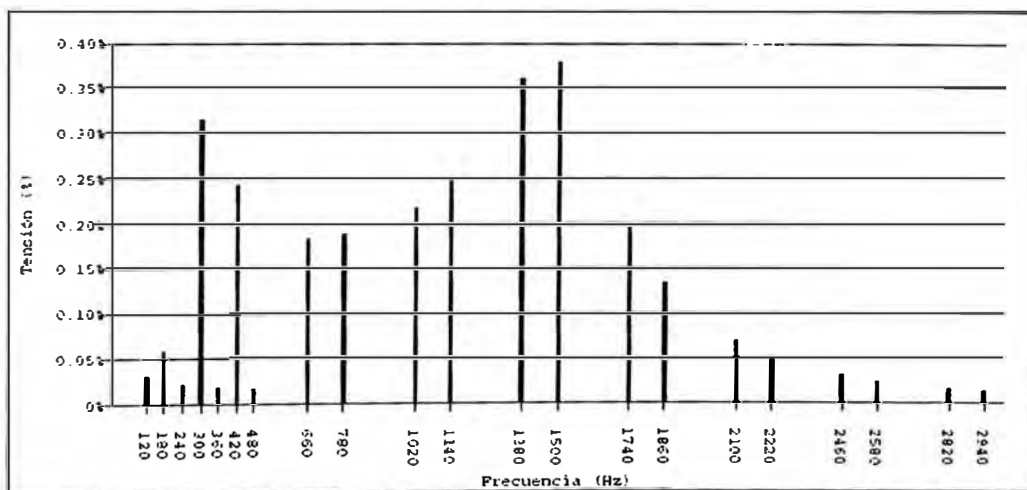


Figura 5.67 Espectro de tensiones armónicas en barra M1

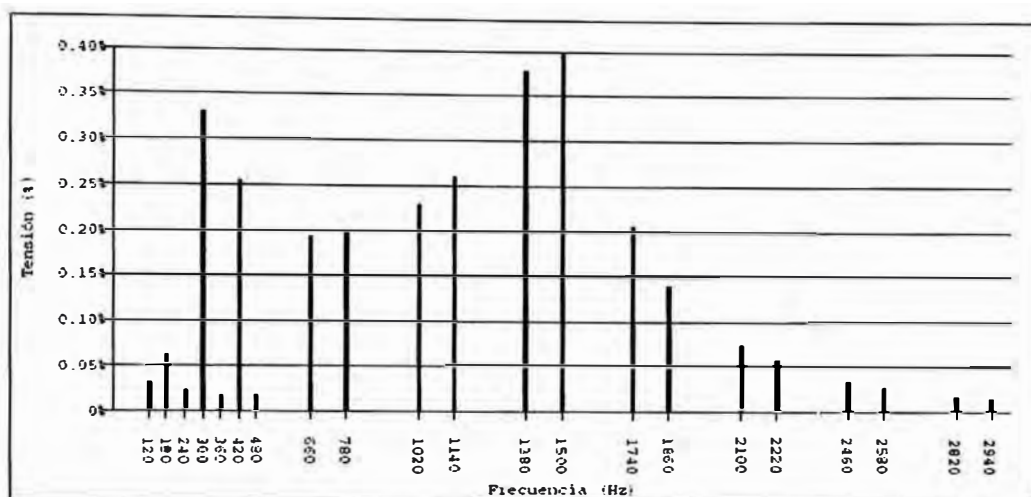


Figura 5.68 Espectro de tensiones armónicas en barra M2

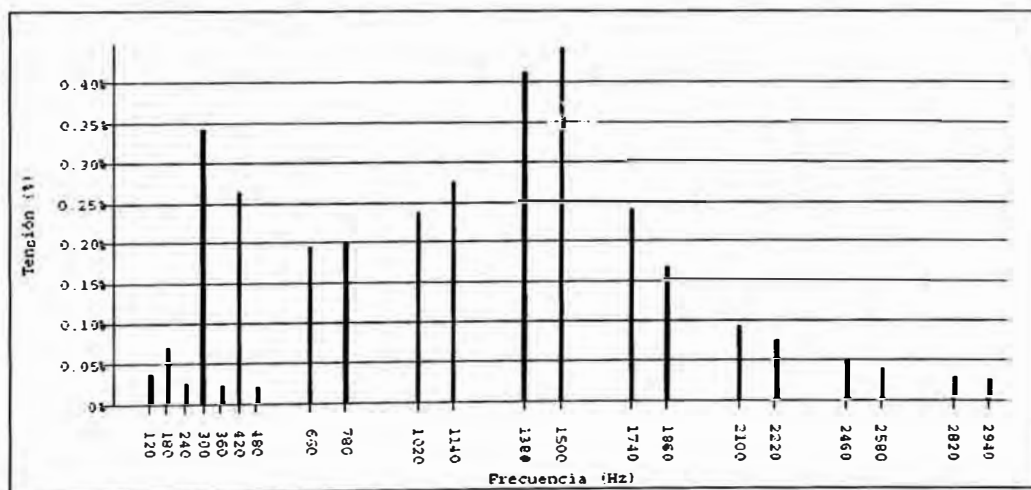


Figura 5.69 Espectro de tensiones armónicas en barra M3

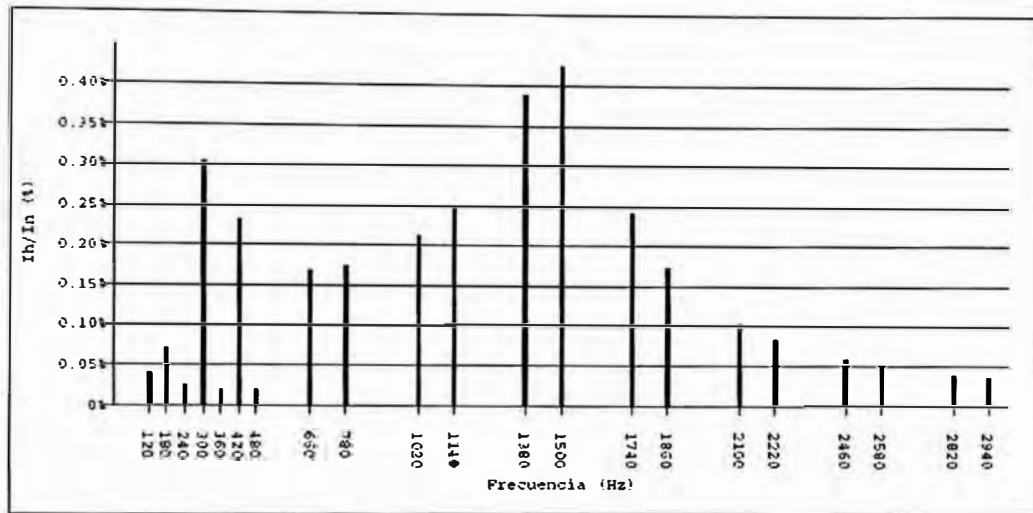


Figura 5.70 Espectro de tensiones armónicas en barra M4

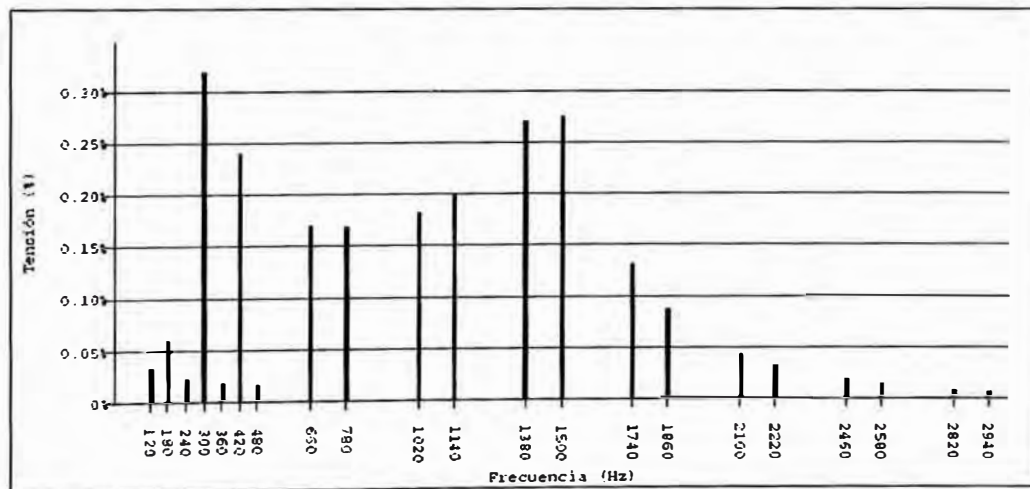


Figura 5.71 Espectro de tensiones armónicas en barra B2

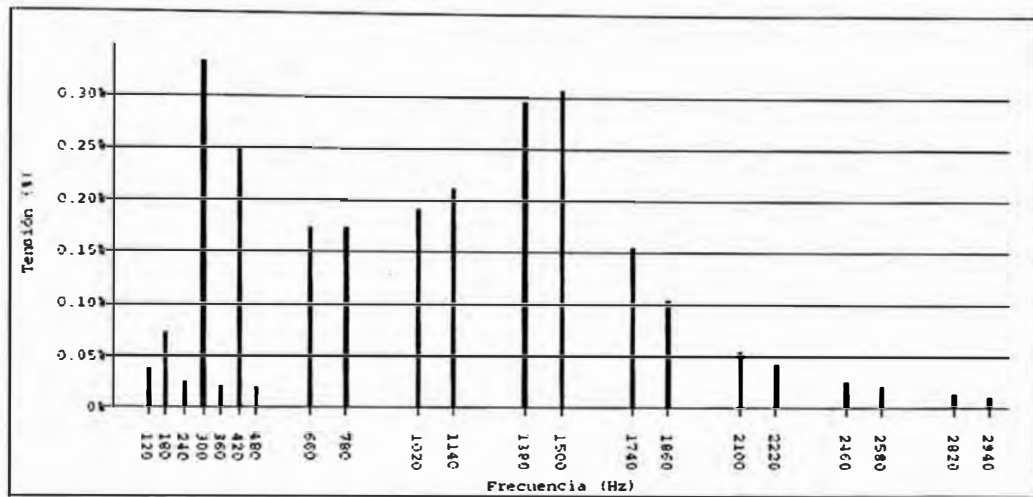


Figura 5.72 Espectro de tensiones armónicas en barra B3

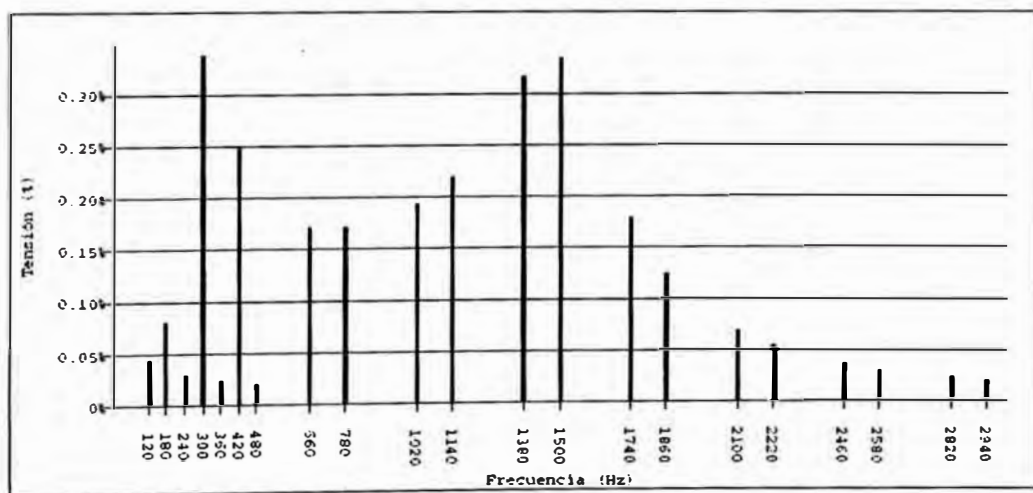


Figura 5.73 Espectro de tensiones armónicas en barra B4

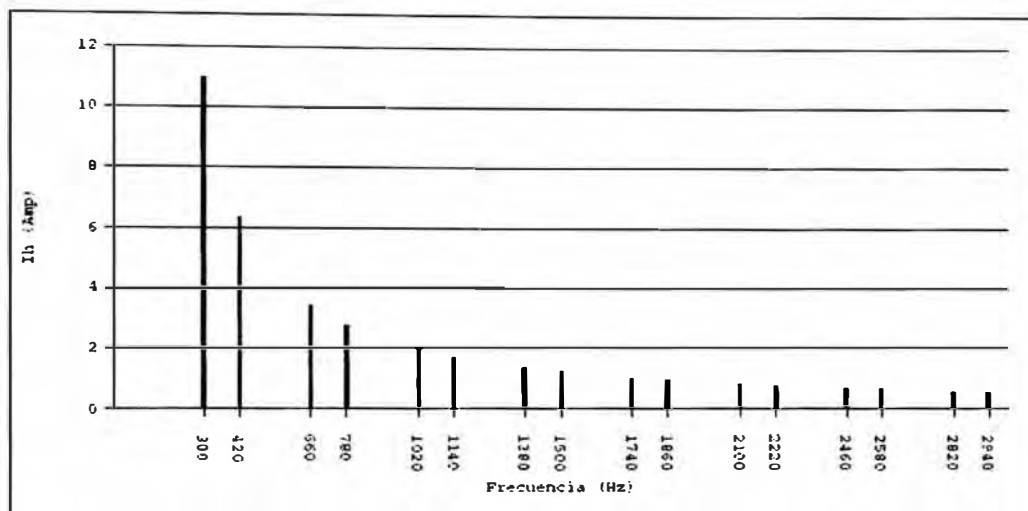


Figura 5.74 Espectro de corrientes armónicas en carga M2

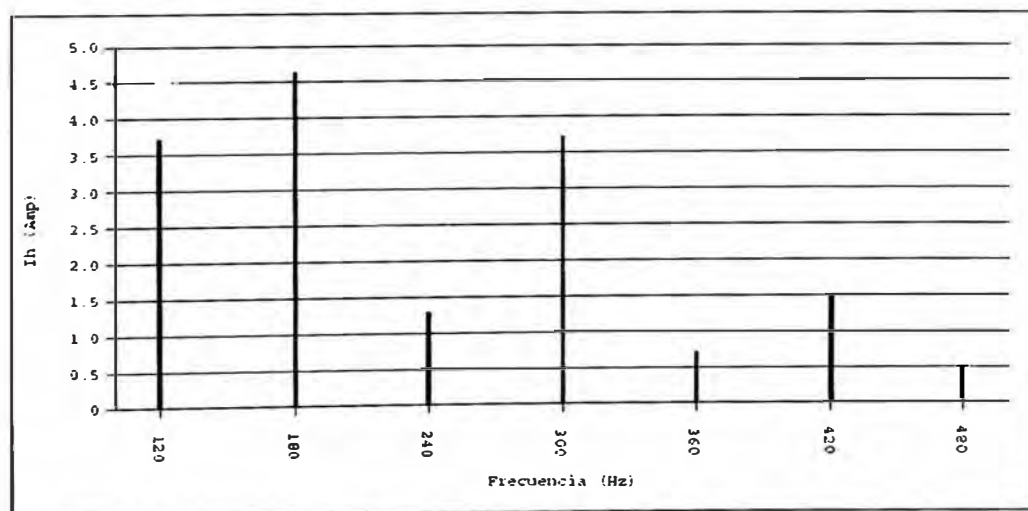


Figura 5.75 Espectro de corrientes armónicas en carga M4 (fuente de corrientes armónicas)

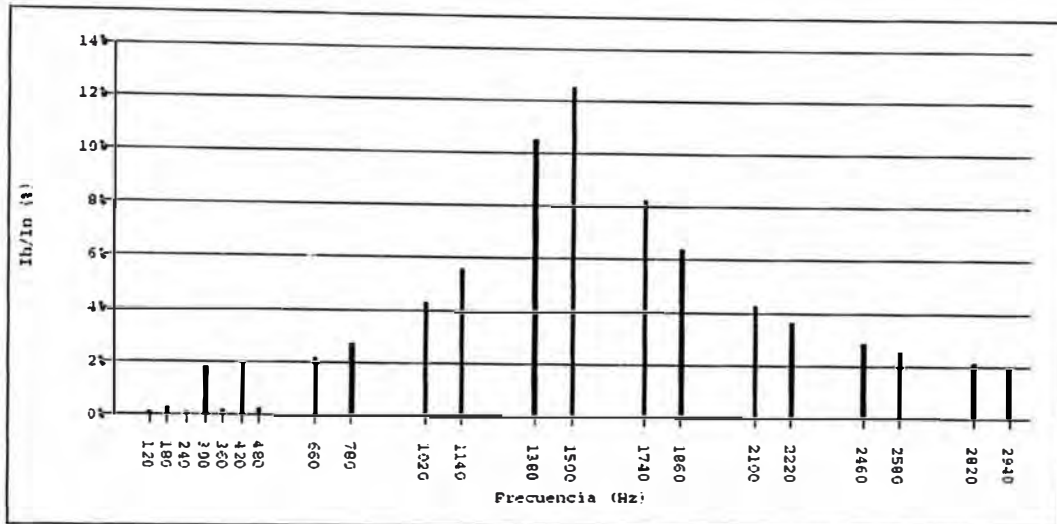


Figura 5.76 Espectro de corrientes armónicas en carga M4 (banco de condensadores)

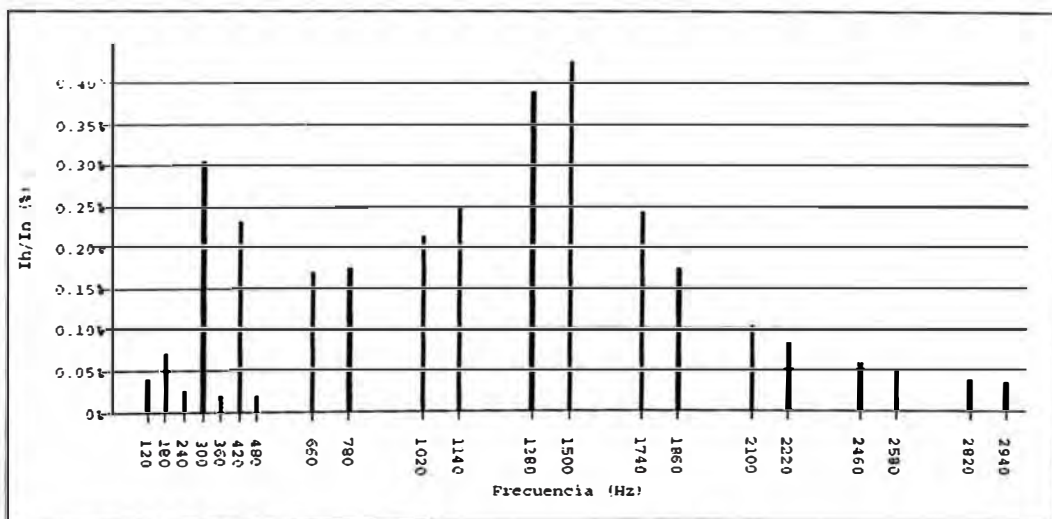


Figura 5.77 Espectro de corrientes armónicas en carga M4 (parte lineal)

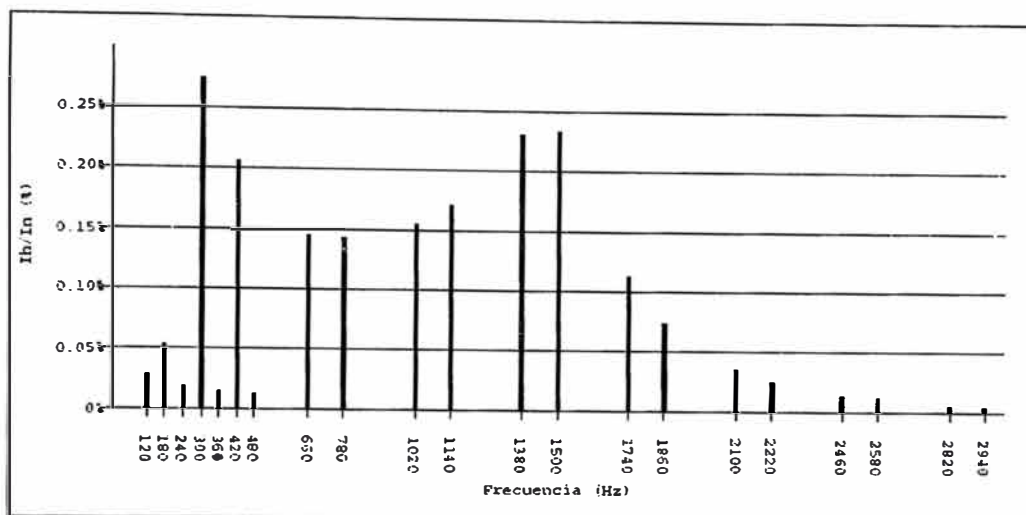


Figura 5.78 Espectro de corrientes armónicas en carga B2

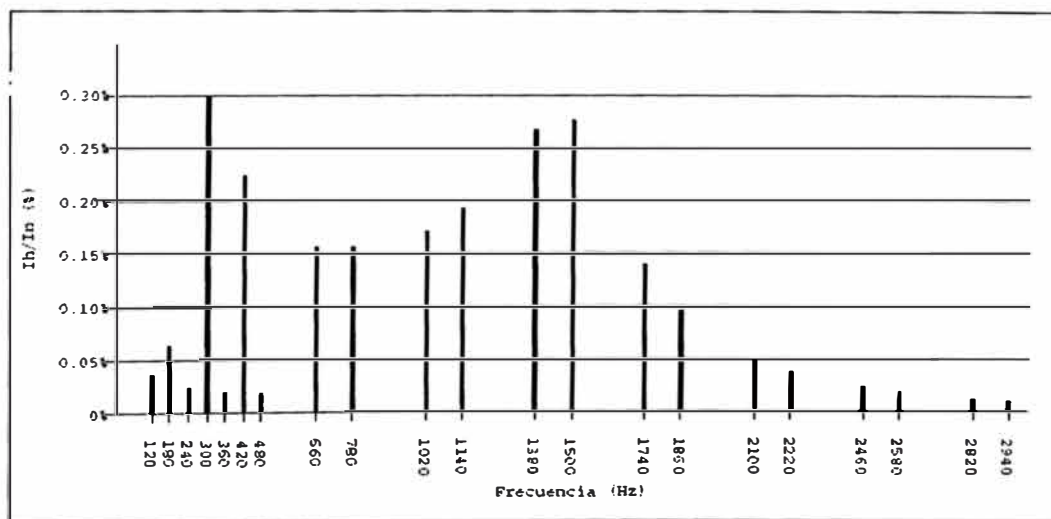


Figura 5.79 Espectro de corrientes armónicas en carga B3

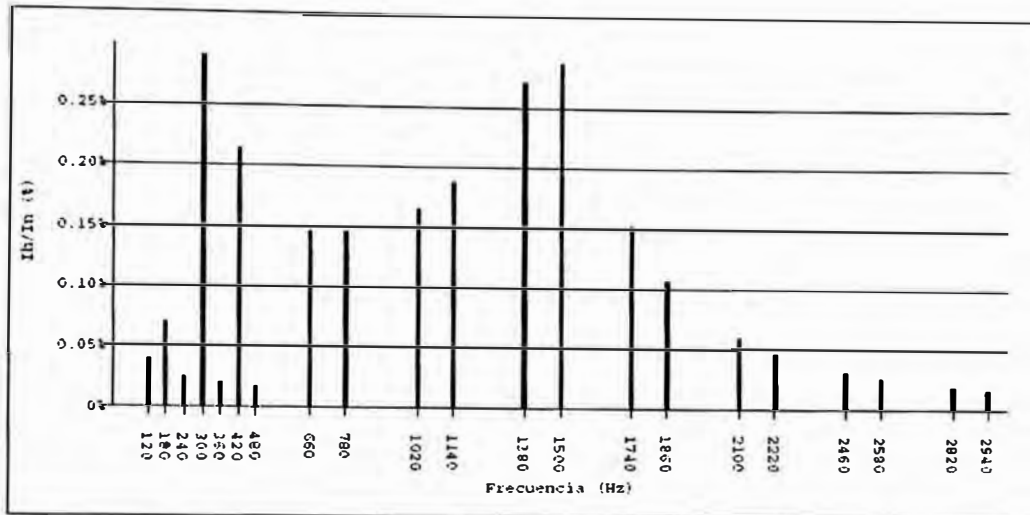


Figura 5.80 Espectro de corrientes armónicas en carga B4

f) Sensibilidad del THD (%) versus la variación de la carga

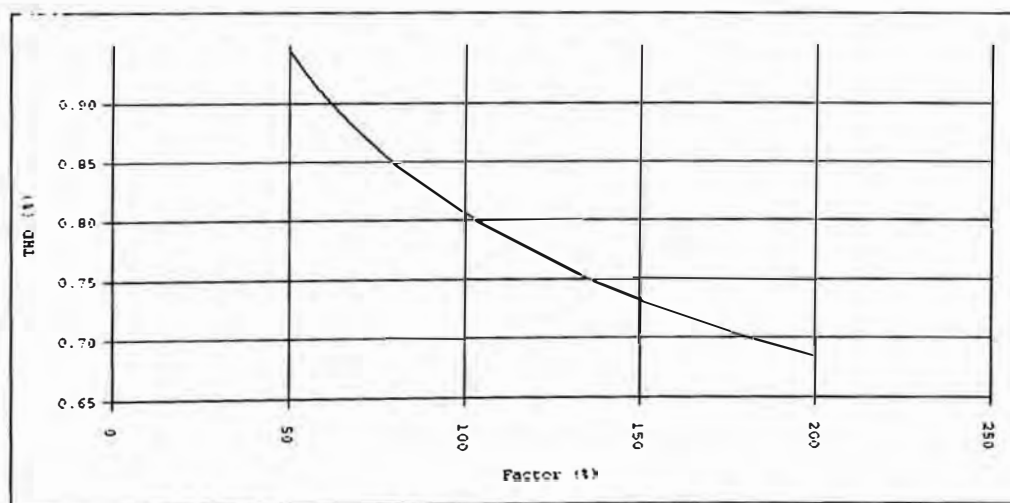


Figura 5.81 Sensibilidad en barra M1

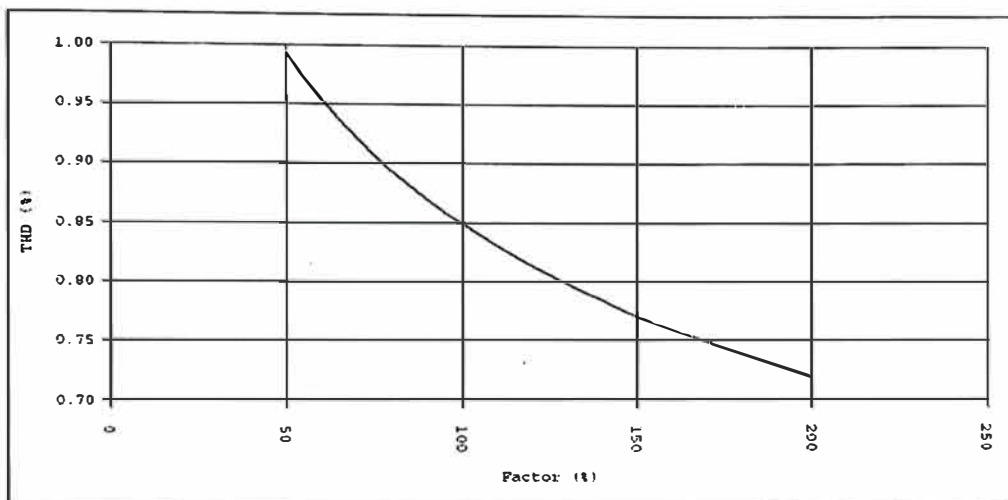


Figura 5.82 Sensibilidad en barra M2

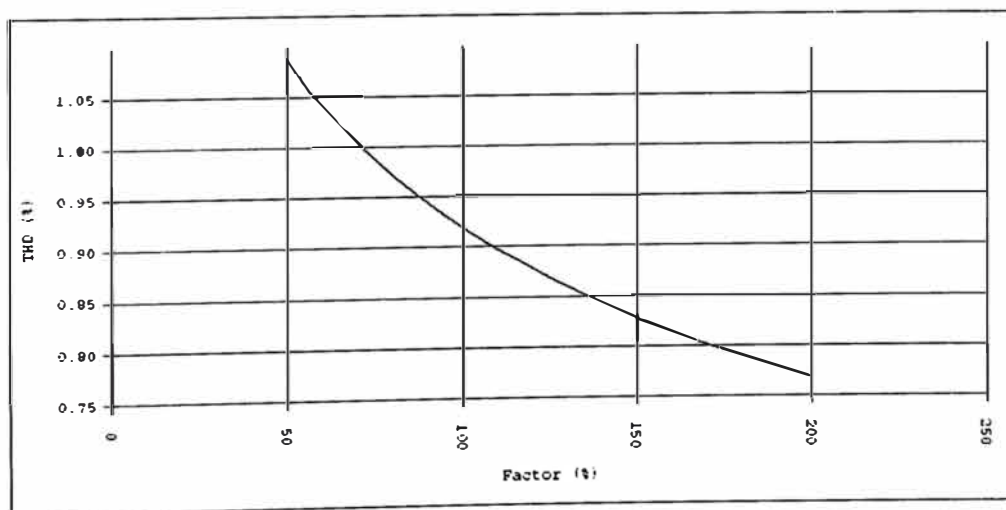


Figura 5.83 Sensibilidad en barra M3

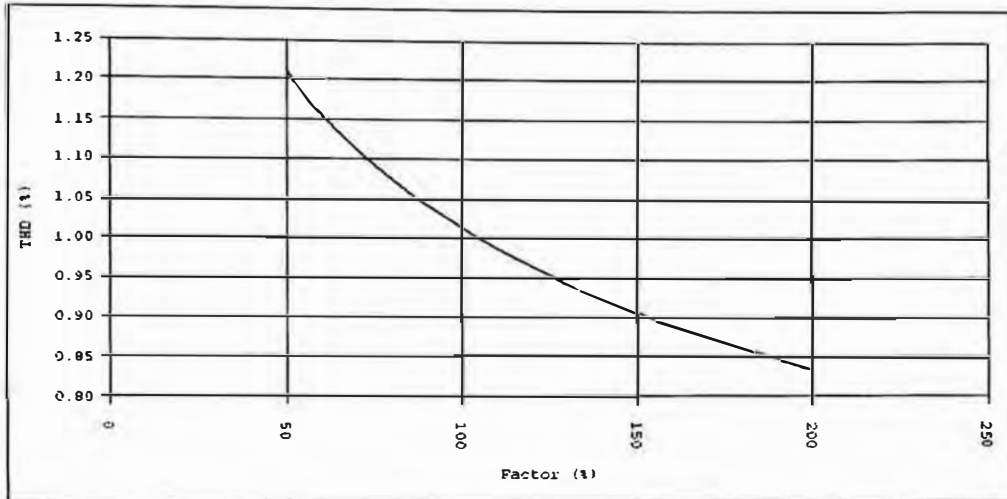


Figura 5.84 Sensibilidad en barra M4

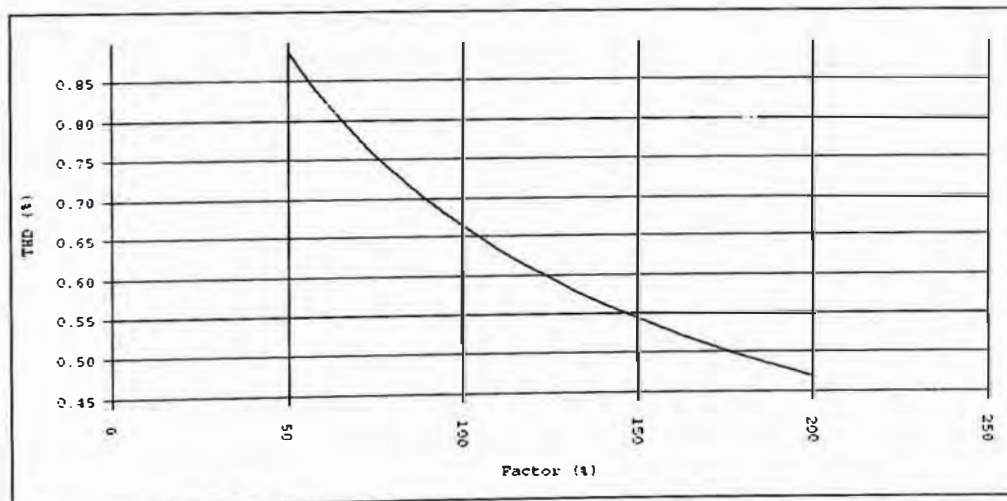


Figura 5.85 Sensibilidad en barra B2

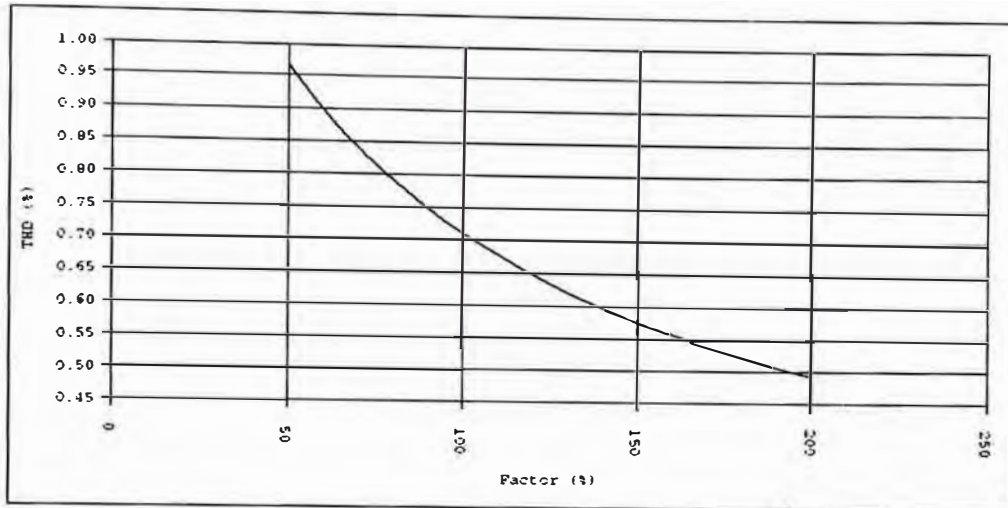


Figura 5.86 Sensibilidad en barra B3

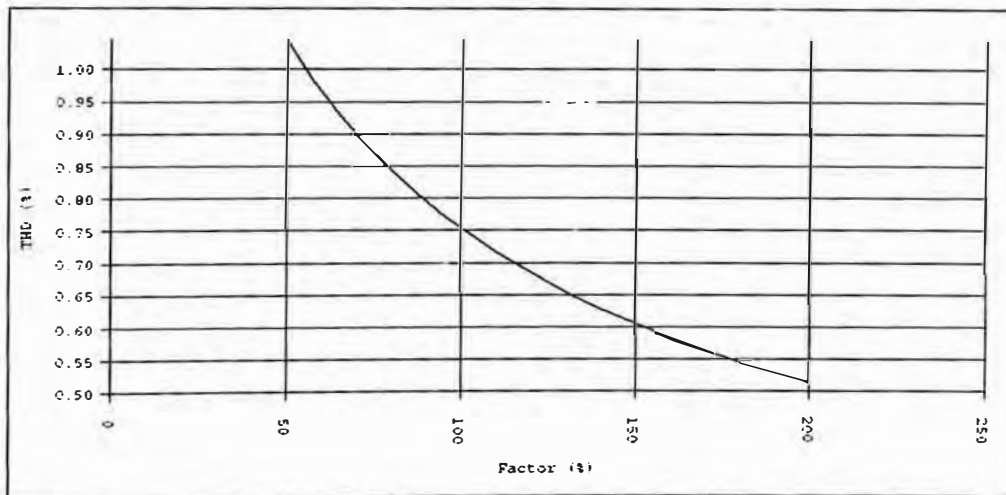


Figura 5.87 Sensibilidad en barra B4

5.5 Comentarios

Los armónicos tienen a fluir desde las cargas no lineales (fuentes de armónicos) hacia las cargas de menor impedancia.

Los niveles de THD de tensión armónica obtenidos en el lado primario del transformador de distribución, son menores que los obtenidos en el lado secundario.

Los puntos de resonancia se presentan solo cuando en la red eléctrica estén presentes elementos capacitivos.

La presencia del banco de capacitores de 500 kVAr en la barra M4, origina puntos de resonancia a 1500 Hz en las barras M1, M2 y M3. En las demás barras dicho efecto no es perceptible.

Los THD de tensión armónica varían inversamente proporcional a la variación de la carga.

Los THD de tensión armónica en barras para los tres escenarios analizados, varían entre el 0,48% al 1,01%, siendo inferiores al límite del 8% establecido para redes de media y baja tensión establecido en la NTCSE. Los detalles se muestran en la tabla N° 5.4.

En el caso de las tensiones armónicas individuales $|V_i'|$, estas no superan los límites establecidos en la NTCSE, tal como se detalla en las tablas N° 5.5, 5.6 y 5.7.

Respecto a las pérdidas por armónicos, estas se incrementan con la presencia del banco de capacitores, siendo su efecto minimizado debido a que las pérdidas totales disminuyen como efecto del propio banco de condensadores.

Finalmente, para las hipótesis planteadas se concluye que la puesta en servicio de una nueva carga en la barra M4 es factible, y cuya emisión de armónicos esta dentro de las tolerancias permisibles por la NTCSE.

THD de tensiones armónicas en barras (en %)

Barra	Sin carga M4	Carga M4 sin capacitores	Carga M4 con capacitores	THD NTCSE
M1	0,55	0,55	0,80	8,00
M2	0,58	0,58	0,85	8,00
M3	0,59	0,59	0,92	8,00
M4	0,60	0,60	1,01	8,00
B2	0,48	0,48	0,66	8,00
B3	0,49	0,49	0,71	8,00
B4	0,50	0,50	0,75	8,00

Tabla N° 5.4

Tensiones armónicas individuales en barras (en %) sin carga perturbadora en barra M4

Armónico		Limite $ V'i $ (%)	$ V'i $ en Barra (%)						
Hz	h		M1	M2	M3	M4	B2	B3	B4
300	5	6,000	0,228	0,239	0,239	0,239	0,232	0,233	0,228
420	7	5,000	0,185	0,195	0,194	0,194	0,183	0,184	0,179
660	11	3,500	0,156	0,164	0,163	0,163	0,145	0,145	0,140
780	13	3,000	0,148	0,156	0,155	0,155	0,133	0,134	0,129
1020	17	2,000	0,137	0,145	0,144	0,144	0,115	0,116	0,111
1140	19	1,500	0,134	0,140	0,140	0,140	0,108	0,108	0,105
1380	23	1,500	0,127	0,134	0,134	0,133	0,096	0,096	0,093
1500	25	1,500	0,125	0,131	0,131	0,131	0,090	0,091	0,088
1740	29	0,631	0,120	0,127	0,126	0,126	0,081	0,081	0,079
1860	31	0,603	0,118	0,125	0,124	0,124	0,077	0,077	0,076
2100	35	0,557	0,115	0,121	0,121	0,121	0,070	0,070	0,069
2220	37	0,538	0,114	0,120	0,119	0,119	0,067	0,067	0,066

Tabla N° 5.5

Tensiones armónicas individuales en barras (en %)
con carga perturbadora y sin banco de condensadores en barra M4

Armónico		Límite $ V_i $ (%)	$ V_i $ en Barra (%)						
Hz	h		M1	M2	M3	M4	B2	B3	B4
120	2	2,000	0,031	0,032	0,037	0,044	0,032	0,038	0,044
180	3	5,000	0,057	0,060	0,069	0,081	0,060	0,069	0,079
240	4	1,000	0,021	0,022	0,025	0,029	0,022	0,025	0,028
300	5	6,000	0,303	0,319	0,329	0,341	0,308	0,320	0,325
360	6	0,500	0,017	0,018	0,020	0,024	0,017	0,020	0,022
420	7	5,000	0,227	0,239	0,244	0,251	0,225	0,231	0,231
480	8	0,500	0,015	0,016	0,018	0,021	0,015	0,017	0,019
660	11	3,500	0,155	0,163	0,162	0,161	0,144	0,144	0,138
780	13	3,000	0,147	0,154	0,153	0,153	0,132	0,132	0,127
1020	17	2,000	0,136	0,143	0,142	0,141	0,114	0,114	0,109
1140	19	1,500	0,132	0,139	0,138	0,137	0,107	0,107	0,102
1380	23	1,500	0,125	0,132	0,131	0,130	0,094	0,094	0,090
1500	25	1,500	0,123	0,129	0,128	0,127	0,089	0,089	0,085
1740	29	0,631	0,118	0,124	0,123	0,122	0,080	0,079	0,077
1860	31	0,603	0,116	0,122	0,121	0,120	0,076	0,075	0,073
2100	35	0,557	0,112	0,118	0,117	0,116	0,068	0,068	0,066
2220	37	0,538	0,111	0,116	0,115	0,114	0,065	0,065	0,063

Tabla N° 5.6

Tensiones armónicas individuales en barras (en %)
con carga perturbadora y con banco de condensadores en barra M4

Armónico		Límite $ V_i $ (%)	V_i en Barra (%)						
Hz	h		M1	M2	M3	M4	B2	B3	B4
120	2	2,000	0,031	0,032	0,037	0,044	0,033	0,038	0,044
180	3	5,000	0,058	0,061	0,070	0,082	0,061	0,070	0,080
240	4	1,000	0,021	0,023	0,026	0,030	0,022	0,026	0,029
300	5	6,000	0,313	0,330	0,341	0,356	0,319	0,332	0,339
360	6	0,500	0,018	0,019	0,022	0,025	0,018	0,021	0,023
420	7	5,000	0,243	0,255	0,263	0,272	0,240	0,249	0,251
480	8	0,500	0,017	0,018	0,020	0,023	0,016	0,019	0,021
660	11	3,500	0,182	0,192	0,195	0,198	0,169	0,173	0,171
780	13	3,000	0,187	0,197	0,201	0,207	0,168	0,173	0,172
1020	17	2,000	0,217	0,228	0,238	0,251	0,182	0,191	0,194
1140	19	1,500	0,248	0,260	0,275	0,294	0,200	0,213	0,220
1380	23	1,500	0,359	0,378	0,413	0,456	0,270	0,297	0,318
1500	25	1,500	0,378	0,398	0,443	0,500	0,274	0,307	0,336
1740	29	0,631	0,195	0,205	0,240	0,284	0,132	0,155	0,179
1860	31	0,603	0,133	0,140	0,168	0,205	0,087	0,105	0,125
2100	35	0,557	0,069	0,072	0,094	0,121	0,042	0,054	0,069
2220	37	0,538	0,052	0,054	0,073	0,098	0,030	0,041	0,054

Tabla N° 5.7

Resumen de pérdidas por armónicos

Pérdidas	Sin carga M4	Carga M4 sin capacitores	Carga M4 con capacitores
Armónicas	55 kW (0,49%)	192 kW (0,86%)	435 kW (2,36%)
Totales	11 318 kW (100%)	22 321 kW (100%)	18 466 kW (100%)

Tabla N° 5.8

CONCLUSIONES

1. Los armónicos son perturbaciones eléctricas que deforman la onda de tensión y de corriente, y dada su naturaleza variable en el tiempo, es importante utilizar un modelo adecuado que represente la característica dominante de la red eléctrica.
2. Se han desarrollado diversos modelos complejos para representar un determinado componente eléctrico. De acuerdo a la experiencia de los investigadores en este campo de la calidad de energía, los armónicos se presentan en un rango de hasta 3000 Hz. Por lo tanto, las divergencias entre los resultados entre un modelo complejo y uno más simple es mínima.
3. Los estudios de armónicos en los Sistemas de Distribución son importantes porque ayudan a detectar y fortalecer los puntos débiles que pudieran existir en las redes eléctricas ante condiciones resonantes, minimizando posibles daños ó operaciones indeseadas de equipos eléctricos con el consiguiente malestar de los usuarios finales.
4. Los estudios de armónicos deben complementarse con mediciones de campo a fin de corroborar la precisión de los análisis realizados.
5. La presencia de condensadores se debe incluir en el estudio a fin de determinar las condiciones de resonancia.

6. Los transformadores de distribución amortiguan la propagación de los armónicos desde la red de media tensión hacia la red de baja tensión.
7. La presencia simultánea en el Sistema de Distribución de cargas no lineales monofásicas y trifásicas tienden a disminuir el THD. En consecuencia, asumir las cargas como del tipo trifásico para un estudio de armónicos contempla el caso más crítico.
8. Los métodos de simulación basados en régimen permanente son más eficientes que los análisis transitorios. Sin embargo, si las suposiciones asumidas son infringidas, se tienen errores serios en los cálculos.
9. En base a la información recabada de las mediciones de campo, se pueden realizar estudios para determinar espectros característicos de los diversos tipos de carga existentes en un Sistema de Distribución.
10. Finalmente, ante las exigencias señaladas por la Autoridad, se recomienda realizar monitoreos en la red a fin de estudiar el comportamiento de los armónicos en su propagación por las redes eléctricas. Esto permitirá detectar, almacenar y analizar la información necesaria para evaluar cualitativa y cuantitativamente la calidad del servicio que se brinda a los usuarios finales e identificar a los usuarios que inyectan armónicos al sistema de distribución.

ANEXO

A.1 Límites para tensiones armónicas en PERU

Orden (n) de la armónica ó THD	Tolerancia Vi' ó THD' (% con respecto a la tensión nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
Mayores de 25	$0,1 + 2,5/n$	$0,2 + 12,5/n$
Armónicas Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Armónicos Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,2
THD	3	8

Nota:

- Límites para las tensiones armónicas de acuerdo a la modificatoria de la NTCSE según el Decreto Supremo N° 009-99-EM, publicado el día 11.04.1999 en el diario oficial "El Peruano".

A.2 Límites para tensiones armónicas en ARGENTINA

Orden (n) de la armónica ó THD	Tolerancia THD' (% con respecto a la tensión a frecuencia fundamental en el punto de medición)	
	V ≥ 66 kV	V < 66 kV
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
Mayores de 25	0,1 + 2,5/n	0,2 + 5/n (*)
Armónicas Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Armónicos Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,2
THD	3	8

Nota:

- (*) Para BT ($V \leq 1$ kV), la expresión es: $0,2 + 0,5 * 25/n$.
- Límites para las tensiones armónicas de acuerdo a la Resolución ENRE N° 184/2000.

A.3 Límites para tensiones armónicas en CHILE

Orden (n) de la armónica ó THD	Tolerancia THD' (% con respecto a la tensión a frecuencia fundamental en el punto de medición)	
	V > 110 kV	V ≤ 110 kV
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
Mayores de 25	$0,2 + 0,5 \cdot 25/n$	$0,2 + 1,3 \cdot 25/n$
Armónicas Impares múltiplos de 3		
3	2,0	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Armónicos Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,4	0,5
10	0,4	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,2
THD	3	8

Nota:

- Límites para las tensiones armónicas establecido en el "Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos" mediante Decreto Supremo N° 327, publicado el día 10.09.1998 en el diario oficial de Chile.

A.4 Límites para tensiones armónicas según la norma IEC 1000-3-6

Orden (n) de la armónica	Tolerancia Vi' (% con respecto a la tensión a frecuencia fundamental en el punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
Mayores de 25	$0,1 + 0,6 \cdot 25/n$	$0,2 + 1,3 \cdot 25/n$
Armónicas Impares múltiplos de 3		
3	2,0	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Armónicos Pares		
2	2,0	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,4	0,5
10	0,4	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,2
THD	3	8

Nota:

- Datos extraídos del documento "Normas Técnicas y de Calidad del Servicio", proyecto ACIDI 910/18255.

A.5 Límites para armónicos según la IEEE Std 519-1992

Límites para la distorsión de la tensión		
Tensión en barra en el PAC	$ V_i $ (%)	$ THD' $ (%)
$V_{PAC} \leq 69$ kV	3,0	5,0
69 kV $< V_{PAC} \leq 161$ kV	1,5	2,5
161 kV $< V_{PAC}$	1,0	1,5

Notas:

- PAC : Punto de acoplamiento común.
- V_{PAC} : Tensión en barra en el PAC.

Límites para la distorsión de corriente para Sistemas de Distribución (120 V hasta 69 kV)						
Orden armónico individual (impares)						
I_{sc}/I_L	<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

Notas:

- Los armónicos pares son limitados al 25% de los límites establecidos para los armónicos impares.
- No se permiten distorsiones de corriente en DC.
- Los equipos generadores de potencia están limitados por §.
- TDD : Distorsión total de la demanda. Se define como la distorsión armónica de la corriente en porcentaje de la corriente de la carga en máxima demanda.
- I_{sc} : Máxima corriente de cortocircuito en el PAC.
- I_L : Corriente de la carga en máxima demanda (componente a la frecuencia fundamental) en el PAC.

A.6 Parámetros eléctricos de cables subterráneos de MT – 10 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Número Fases	R20 (Ω/km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	X _c (Ω/km)
NKY	16	3	1,1500	1,3770	0,1360	1,7337E+04
	25	3	0,7270	0,8699	0,1277	1,8813E+04
	35	3	0,5240	0,6300	0,1200	1,4035E+04
	70	3	0,2680	0,3230	0,1090	1,1483E+04
	95	3	0,1930	0,2309	0,1084	1,0632E+04
	120	3	0,1530	0,1860	0,1010	9,8981E+03
	240	3	0,0754	0,0950	0,0930	8,2379E+03
NYSY	16	3	1,1500	1,4664	0,2436	1,8018E+04
	35	3	0,5240	0,6682	0,2088	1,4725E+04
	70	3	0,2680	0,3417	0,1889	1,2854E+04
N2XSY	16	3	1,1500	1,4664	0,2436	1,8018E+04
	25	3	0,7270	0,9290	0,2160	1,8018E+04
	35	3	0,5240	0,6682	0,2088	1,4725E+04
	50	3	0,3870	0,4930	0,1990	1,4725E+04
	70	3	0,2680	0,3430	0,1880	1,2854E+04
	120	3	0,1530	0,1960	0,1750	1,0458E+04
	240	3	0,0754	0,1000	0,1587	7,8801E+03
	300	3	0,0601	0,0766	0,1479	7,8801E+03
	25	2	0,7270	0,9290	0,1984	1,8018E+04
	50	2	0,3870	0,4930	0,1826	1,4725E+04
	70	2	0,2680	0,3430	0,1715	1,2854E+04
	120	2	0,1530	0,1960	0,1577	1,0458E+04
	240	2	0,0754	0,1000	0,1414	7,8801E+03

Nota:

- R : Resistencia eléctrica a 70°C, NKY.
Resistencia eléctrica a 90°C, NYSY y N2XSY.

A.7 Capacidad de corriente de cables subterráneos de MT – 10 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	
		Nominal (*)	Emergencia
NKY	16	79	95
	25	104	124
	35	130	156
	70	189	227
	95	223	268
	120	252	302
	240	375	450
NYSY	16	87	104
	35	140	168
	70	200	240
N2XSY	16	112	134
	25	144	171
	35	171	204
	50	201	239
	70	246	293
	120	333	396
	240	487	580
	300	533	634

(*) Capacidad de corriente nominal a la temperatura máxima de operación.

Nota:

- Los valores corresponden a tipos de carga con factor de carga $\leq 0,75$.

A.8 Parámetros eléctricos de conductores aéreos de MT – 10 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Número Fases	R20 (Ω/km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	X _c (Ω/km)
AA	35	3	0,9520	1,0891	0,4396	2,7024E+05
	70	3	0,5180	0,5834	0,4152	2,5456E+05
	120	3	0,2820	0,3226	0,3935	2,4084E+05
	185	3	0,1840	0,2210	0,3767	2,2965E+05
	240	3	0,1420	0,1624	0,3667	2,2395E+05
	35	2	0,9520	1,0891	0,4222	2,7479E+05
	70	2	0,5100	0,5834	0,3978	2,5912E+05
	120	2	0,2820	0,3226	0,3761	2,4539E+05
	185	2	0,1840	0,2210	0,3593	2,3421E+05
	240	2	0,1420	0,1624	0,3492	2,2850E+05
CU	35	3	0,5340	0,6156	0,4400	2,7024E+05
	50	3	0,3950	0,4554	0,4277	2,7907E+05
	70	3	0,2730	0,3147	0,4138	2,5366E+05
	120	3	0,1560	0,1798	0,3925	2,0326E+05
	35	2	0,5340	0,6156	0,4226	2,7479E+05
	50	2	0,3950	0,4554	0,4103	2,6158E+05
	70	2	0,2730	0,3147	0,3964	2,5822E+05
N2XS2 Y-S	35	3	0,5240	0,5858	0,1827	1,7769E+04
	50	3	0,3870	0,4326	0,1690	1,5920E+04
	70	3	0,2680	0,2996	0,1614	1,3980E+04
NA2XS A2Y-S	35	3	0,8680	0,9729	0,1828	1,7780E+04
	70	3	0,4430	0,4966	0,1676	1,4043E+04
	120	3	0,2530	0,2836	0,1468	1,1469E+04
	185	3	0,1640	0,1838	0,1394	9,7971E+03
SAX	70	3	0,4930	0,5995	0,4212	7,7305E+03
	120	3	0,2880	0,3502	0,4003	6,3427E+03
	185	3	0,1880	0,2286	0,3849	5,6980E+03

Notas:

- R : Resistencia eléctrica a 50°C, N2XS2Y-S y NA2XSA2Y-S.
Resistencia eléctrica a 60°C, AA y CU.
- La reactancia inductiva trifásica se ha calculado para un sistema trifásico de tres hilos.
- La reactancia inductiva trifásica para conductores AA y CU, ha sido obtenida para una disposición vertical de conductores, separados 800 mm.

A.9 Capacidad de corriente de conductores aéreos de MT – 10 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	
		Nominal (*)	Emergencia
AA	35	139	166
	70	201	250
	120	284	355
	185	405	488
	240	472	566
CU	16	112	138
	25	154	184
	35	182	225
	50	226	271
	70	275	342
	120	404	485
N2XS2Y -S (CU)	35	185	220
	50	225	268
	70	280	333
NA2XSA2Y -S (AA)	35	153	182
	70	228	271
	120	320	381
	185	410	488
SAX	70	283	325
	120	393	451
	185	511	587

(*) Capacidad de corriente nominal a la temperatura máxima de operación.

A.10 Parámetros eléctricos de cables subterráneos de MT – 22,9 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Número Fases	R20 (Ω/km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	X _c (Ω/km)
N2XSY	50	3	0,3870	0,4935	0,2763	2,0743E+04
	70	3	0,2680	0,3417	0,2637	1,8403E+04
	120	3	0,1530	0,1951	0,2440	1,5150E+04
	240	3	0,0754	0,0961	0,2212	1,1684E+04
	25	2	0,7270	0,9270	0,2988	2,2063E+04
	50	2	0,3870	0,4935	0,2568	2,0743E+04
	70	2	0,2680	0,3417	0,2442	1,8403E+04
	120	2	0,1530	0,1951	0,2250	1,5150E+04
	240	3	0,0754	0,0961	0,2024	1,1684E+04

Nota:

- R : Resistencia eléctrica a 90°C.

A.11 Capacidad de corriente de conductores aéreos de MT – 22,9 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	
		Nominal (*)	Emergencia
N2XSY	25	143	171
	50	198	236
	70	240	286
	120	320	381
	240	452	538

(*) Capacidad de corriente nominal a la temperatura máxima de operación.

Nota:

- Los valores corresponden a tipos de carga con factor de carga $\leq 0,75$.

A.12 Parámetros eléctricos de conductores aéreos de MT – 22,9 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Número Fases	R ₂₀ (Ω/km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	X _c (Ω/km)
AA	35	3	0,9520	1,0891	0,4702	2,0743E+05
	70	3	0,5100	0,5834	0,2637	2,6976E+05
	120	3	0,2820	0,3226	0,2440	2,5604E+05
	185	3	0,1840	0,2210	0,2212	2,4485E+05
	240	3	0,1420	0,1624	0,2988	2,3914E+05
	35	2	0,9520	1,0891	0,2568	2,8543E+05
	70	2	0,5100	0,5834	0,2442	2,6976E+05
	120	2	0,2820	0,3226	0,2250	2,5604E+05
	185	2	0,1840	0,2210	0,2024	2,4485E+05
	240	2	0,1420	0,1624	0,3798	2,3914E+05
CU	16	3	1,1700	1,3488	0,5003	3,0421E+05
	35	3	0,5340	0,6156	0,4706	2,8543E+05
	70	3	0,2730	0,3147	0,4444	2,6886E+05
	16	2	1,1700	1,3488	0,4828	3,0421E+05
	35	2	0,5340	0,6156	0,4532	2,8543E+05
	70	2	0,2730	0,3147	0,4270	2,6886E+05

Notas:

- R : Resistencia eléctrica a 60°C.
- La reactancia inductiva trifásica se ha calculado para un sistema trifásico de tres hilos.
- La reactancia inductiva trifásica para conductores AA y CU, ha sido obtenida para una disposición vertical de conductores, separados 800 mm.

A.13 Capacidad de corriente de conductores aéreos de MT – 22,9 kV

Tipo	Sección (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	
		Nominal (*)	Emergencia
AA	35	139	166
	70	201	250
	120	284	355
	185	405	488
	240	472	566
CU	16	112	138
	35	182	225
	70	275	342

(*) Capacidad de corriente nominal a la temperatura máxima de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, "Normas Técnicas y de Calidad del Servicio", Proyecto ACDI 910/18255, Guatemala, Diciembre 1998.
2. Alejandro Galinski, Diego Bibe, "Resultados de la Campaña de Control de las Perturbaciones Eléctricas en el Área Metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires", Seminario Internacional sobre Planificación y Calidad en Sistemas de Distribución, Argentina, Octubre 2001.
3. Bruce L. Graves, "Short-Circuit, Coordination, and Harmonic Studies", IEEE Industry Applications Magazine, March/April 2001.
4. Ente Nacional Regulador de Electricidad, "Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico", Resolución ENRE N° 184/2000, Argentina, 2000.
5. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Characteristics and Modeling of Harmonic Sources – Power Electronic Devices", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 4, October 2001.
6. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Impact of Aggregate Linear Load Modeling on Harmonic Analysis: A Comparison of Common Practice and Analytical Models", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 2, April 2003.
7. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks - Part I: Concepts, Models and Simulation Techniques", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, January 1996.
8. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks - Part II: Sample Systems and Examples", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, January 1996.
9. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Tutorial on

Harmonics Modeling and Simulation”, 1998 PES Summer Meeting, July 1998.

10. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, “Test Systems for Harmonics Modeling and Simulation”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, April 1999.
11. Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, IEEE Std 519-1992, April 1993.
12. J. Arrillaga, A. Medina, M. L. V. Lisboa, M. A. Cavia, P. Sánchez, “The Harmonic Domain. A Frame of Reference for Power System Harmonic Analysis”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 1, February 1995.
13. J. Pontt, J. Rodriguez, C. Pontt, “Armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia”, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 1996.
14. Jos Arrillaga, Bruce C. Smith, N. R. Watson, Alan R. Wood, “Power System Harmonic Analysis”, John Wiley & Sons, September 1997.
15. Lonnie C. Lindell, “Software Predicts Harmonic Problems and Simulates Alternative Solutions”, IEEE Computer Applications in Power, October 1993.
16. Luz del Sur S.A., “Norma de Distribución RD-3-010”, Perú, Junio 2001.
17. Ministerio de Energía y Minas, “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”, Decreto Supremo N° 020-97-EM, Perú, Octubre 1997.
18. Ministerio de Energía y Minas, “Modificaciones a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”, Decreto Supremo N° 009-99-EM, Perú, Abril 1999.
19. Ministerio de Minería, “Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos”, Decreto Supremo N° 327, Chile, Setiembre 1998.
20. Percy Alan Paján Lan, Carlos Alberto Arroyo Arana, “Software WinHarmo versión 3.0”, Perú, Diciembre 1998.
21. Ram Adapa, “Power Quality Analysis Software”, IEEE Power Engineering Review, February 2002.
22. Steffan Hansen, Peter Nielsen, Frede Blaabjerg, “Harmonic Cancellation by Mixing nonlinear Single-Phase and Three-Phase

- Loads", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 1, January/February 2000.
23. U. Sachis, H. Tyll, C. Unger, "Network Models Enlighten Harmonics Investigations", IEEE Computer Applications in Power, April 1996.
 24. Wilsun Xu, "Component Modeling Issues for Power Quality Assessment", IEEE Power Engineering Review, November 2001.